

REPORT

77

Syyskuu 2026

Ilmastonmuutos ja Suomen huoltovarmuus

Ketjuuntuvien ja siirtymävaikutusten merkitys
Suomen toimitusketjuille ja varautumiselle

Emma Hakala & Helmi Räisänen

FIIA

ULKOPOLIITTINEN
INSTITUUTTI
UTRIKESPOLITISKA
INSTITUTET

Ilmastonmuutos ja Suomen huoltovarmuus

Ketjuuntuvien ja siirtymävaikutusten merkitys
Suomen toimitusketjuille ja varautumiselle

Emma Hakala & Helmi Räisänen

FIIA REPORT 77 Syyskuu 2026

Tämä julkaisu on osa ”Ilmastonmuutos ja Suomen huoltovarmuus”-tutkimushanketta, jonka päärahoittaja on Huoltovarmuuskeskus.

Kielentarkistus: Spoken Oy

Ulkoasu, taitto ja grafiikka: Kaarina Tammisto

ISBN (web) 978-951-769-862-7

ISSN (web) 2323-5454



ULKOPOLIITTINEN
INSTITUUTTI
UTRIKESPOLITISKA
INSTITUTET

Arkadiankatu 23 b
POB 425 / 00101 Helsinki
Telephone +358 (0)9 432 7799
www.fiia.fi

Ulkopoliittinen instituutti on riippumaton tutkimuslaitos, joka tuottaa korkeatasoista tutkimusta poliittisen päätöksenteon ja julkisen keskustelun tueksi Suomessa ja kansainvälisesti.

Julkaisujen laadun varmistamiseksi jokaisen käsikirjoituksen arvioi vähintään kaksi alan asiantuntijaa. Lisäksi julkaisut käyvät läpi ammattimaisen kielentarkastuksen ja editointiprosessin. Esitetyt näkemykset ovat kirjoittajien omia.

Kaikki Ulkopoliittisen instituutin julkaisut ovat avoimesti luettavissa instituutin verkkosivuilla. Tekstikokonaisuuksien tai niiden osien uudelleenjulkaisu on kielletty ilman instituutin erikseen myöntämää lupaa.

Sisällys

Lyhenteet	5
Esipuhe	8
Johdanto	9
1. Tapaustutkimus: Lääkehuolto	20
Helmi Räisänen & Emma Hakala	
1.1 Tiivistelmä	20
1.2 Lääkemarkkinat ja lääkkeiden tuotanto	23
1.3 Ketjuuntuvat vaikutukset tuotantoon	41
1.4 Kestävyyssiirtymän vaikutukset tuotantoon	57
1.5 Lääkkeiden saatavuuden hallinta EU:ssa	60
1.6 Lääkkeiden saatavuuden hallinta Suomessa	63
1.7 Varautumisen keinoja	66
2. Tapaustutkimus: Energiasiirtymän kriittiset raaka-aineet	72
Helmi Räisänen & Emma Hakala	
2.1 Tiivistelmä	72
2.2 Kriittiset raaka-aineet	75
2.3 Akut energiajärjestelmässä	79
2.4 Akkujen raaka-aineet ja ennakoitu kysyntä	81
2.5 Akkujen keskittyneet tuotantoketjut	83
2.6 Heilahtelevat raaka-ainemarkkinat ja tuleva tarjonta	89
2.7 Ilmastonmuutoksen vaikutukset tuotantoon	96
2.8 Raaka-aineiden geopolitiikkaa	109
2.9 Suomen kaivosteollisuus ja akkuklusteri	121
2.10 Kriittisten raaka-aineiden ja akkuklusterin hallinta EU:ssa	128
2.11 Varautumisen keinoja	136

3. Tapaustutkimus: Lannoitteet	142
Helmi Räisänen & Emma Hakala	
3.1 Tiivistelmä	142
3.2 Lannoitteiden kriittinen rooli	145
3.3 Lannoitteiden tuotanto ja markkinat	146
3.4 Ketjuuntuvat vaikutukset tuotantoon	161
3.5 Kestävyyssiirtymä lannoitteissa	176
3.6 Lannoitteiden sääntely ja hallinta	186
3.7 Varautumisen keinoja	189
 4. Tapaustutkimus: Sähkön ja lämmön toimitus- ja huoltovarmuushaasteet energiamurroksessa	201
Antti Majava & Pekka Passi	
4.1 Tiivistelmä	201
4.2 Sähköntuotannon kehitysnäkymät	204
4.3 Sähkön hinta ja kulutuksen kehitysnäkymät	208
4.4 Sähköjärjestelmän tai siirtoyhteyksien häiriötilanteet	220
4.5 Lämpö	223
4.6 Energiasektorin tilannekuva	230
4.7 Varautumisen keinoja	234
 5. Ilmastonmuutoksen huoltovarmuusvaikutusten ennakointi	239
 Loppupäätelmät ja suosituks	249
 Kirjoittajat	255
Lähdeluettelo	257
Sarjan aiemmat julkaisut	291

Lyhenteet

AMOC	Atlantin meridionaalinen kiertoiliike
APS	Announced Pledges Scenario, ilmoitettujen ilmastositoumusten skenaario
BPC	Belarusian Potash Company
BRI	Belt and Road Initiative, Kiinan uusi silkkitie -hankkeet
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism, EU:n hiilirajamekanismi
CE	Conformité Européenne, EU-vaatimustenmukaisuusmerkintä
CHP	Combined heat and power, sähkön ja lämmön yhteistuotanto
CMRA	Critical Raw Materials Act, EU:n kriittisten raaka-aineiden asetus
DG SANTE	Directorate-General for Health and Food Safety, terveyden ja elintarviketurvallisuuden pääosasto
ECHA	European Chemicals Agency, Euroopan kemikaalivirasto
EEA	European Environment Agency, Euroopan ympäristökeskus
EFPIA	European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations, Euroopan lääketeollisuuden kattojärjestö
EMA	European Medicines Agency, Euroopan lääkevirasto
ESMP	European Shortages Monitoring Platform, Euroopan saatavuushäiriöiden seuranta-alusta
EU	Euroopan unioni
Fimea	Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus
FAOSTAT	YK:n elintarvike- ja maatalousjärjestö FAO:n maataloustilastotietokanta
GMP	Good manufacturing practice, lääkkeiden hyvät tuotantotavat
GTK	Geologian tutkimuskeskus
GW	Gigawatti
GWh	Gigawattitunti
HERA	Health Emergency Preparedness and Response Authority, EU:n terveyshätätilanteiden valmiusviranomainen

HELCOM	Helsinki Commission, Itämeren suojelukomissio
HVK	Huoltovarmuuskeskus
IEA	International Energy Agency, Kansainvälinen energiajärjestö
IFA	International Fertilizer Association, kansainvälinen lannoitetuottajien kattojärjestö
IL	Ilmatieteen laitos
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
IRENA	International Renewable Energy Agency, Kansainvälinen uusiutuvan energian järjestö
JRC	Joint Research Centre, Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus
kWh	Kilowattitunti
LCOE	Levelized cost of energy, tasoitettu energian kustannus
LCOS	Levelized cost of storage, energiavarastojen käyttökustannukset
LFP-akku	Lithium iron phosphate battery, litium-rautafosfaattiakku
LCO-akku	Lithium cobalt oxide battery, litiumkobolttioksidiakku
LMO-akku	Lithium manganese oxide battery, litiummangaanioksidiakku
LUKE	Luonnonvarakeskus
MDR	Medical Device Regulation, lääkinnällisten laitteiden asetus
MW	Megawatti
MWh	Megawattitunti
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö
MOP	Muriate of potash, lannoitteeksi soveltuva kaliumkloridin (puhtausaste vähintään 95 prosenttia) ja natriumkloridin seos
MSSG	Executive Steering Group on Shortages and Safety of Medicinal Products, lääkkeiden puutetta ja turvallisuutta käsittelevä ja toimeenpaneva ohjausryhmä
NCA-akku	Nickel cobalt aluminium battery, litium-nikkeli-koboltti- alumiiniakku
NMC-akku	Nickel manganese cobalt battery, litium-nikkeli-mangaani- kobolttiakku
NPK	Moniravinteinen lannoite, jossa on typpeä (N), fosforia (P) ja kaliumia (K)
NZIA	Net-Zero Industry Act, EU:n nettonollateknologioita koskeva asetus
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development, Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö
PFAS	Per- ja polyfluoratut alkyyliyhdisteet
PPE	Personal protective equipment, henkilönsuojaimet

REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, EU:n kemikaaliasetus (kemikaalien rekisteröinti, arviointi, lupamenettelyt ja rajoitukset)
STEPS	Stated Policies Scenario, ilmoitettujen politiikkatoimien skenaario
SYKE	Suomen ympäristökeskus
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
TWh	Terawattitunti
UNEP	United Nations Environment Programme, Yhdistyneiden kansakuntien ympäristöohjelma
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT
WHO	World Health Organisation, Maailman terveysjärjestö
WRI	World Resources Institute, Maailman luonnonvarainstituutti
WWF	World Wide Fund for Nature, Maailman luonnonsäätiö
WTO	World Trade Organization, Maailman kauppajärjestö
YK	Yhdistyneet kansakunnat

Esipuhe

Ilmastonmuutos ja sen hillinnän edellyttämä yhteiskunnallinen murros muokkaavat nopeasti Suomen huoltovarmuuden toimintaympäristöä. Huoltovarmuuskeskuksen tehtävänä on varmistaa, että suomalainen yhteiskunta kykenee toimimaan myös tilanteissa, joissa globaaleihin järjestelmiin kohdistuu vakavia häiriöitä. Siksi on välttämätöntä tarkastella ilmastonmuutosta osana laajempaa kokonaisturvallisuutta ja ymmärtää sen vaikutuksia toimitusketjuihin, kriittisiin resursseihin ja yhteiskunnan elintärkeisiin toimintoihin.

Tämä raportti on osa Huoltovarmuuskeskuksen rahoittamaa ja Ulkopoliittisen instituutin toteuttamaa Ilmastonmuutos ja Suomen huoltovarmuus (ILHU) -tutkimushanketta. Hankkeen tavoitteena on ollut tuottaa syvällistä tietoa ilmastonmuutoksen ketjuuntuvista ja siirtymävaikutuksista, jotka kohdistuvat Suomeen erityisesti kansainvälisten toimitusketjujen, geopoliittisten muutosten ja vihreän siirtymän kautta. Näiden tekijöiden ymmärtäminen on keskeistä, sillä Suomen huoltovarmuus rakentuu vahvasti ulkomaankaupan, globaalien markkinoiden ja kansainvälisen sääntöpohjaisen järjestelmän varaan.

Raportti osoittaa, että äärisääilmiöiden, ekosysteemien heikkenemisen ja geopoliittisen epävakauden yhteisvaikutukset voivat aiheuttaa merkittäviä häiriöitä muun muassa ruoantuotantoon, kriittisiin materiaaleihin, lääkehuoltoon ja logistiikkaan. Nämä kehityskulut korostavat tarvetta vahvistaa Suomen varautumista ja ennakointikykyä. Pitkällä aikavälillä ilmastonmuutos voi yhdessä muiden globaalien kriisien kanssa edellyttää uudenlaista ajattelua myös huoltovarmuuden toteutukseen.

Ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit ovat laaja-alaisia, mutta niihin voidaan varautua ennakoivalla yhteistyöllä, tiedolla ja pitkäjänteisellä kehittämisellä. Tämä raportti on tärkeä askel kohti entistä kestävämpää ja toimintavarmempaa Suomea.

Tapio Tourula, Huoltovarmuuskeskus
Emma Hakala, Ulkopoliittinen instituutti

Hallitustenvälisen ilmastopaneelin (IPCC) mukaan maapallon keskilämpötila on noussut jo yli $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ esiteolliseen aikaan verrattuna, ja vuosi 2023 oli ensimmäinen, jolloin globaali keskilämpötila pysyi kokonaisen vuoden ajan $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$:n yläpuolella.¹ Nykyisellä päästökehityksellä lämpeneminen voi ylittää $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ vuosisadan loppuun mennessä, mikä lisää merkittävästi sään ääri-ilmiöiden, ekosysteemien muutosten ja yhteiskunnallisten häiriöiden riskiä.

Viimeisimmän tutkimuksen mukaan maapallon lämpeneminen on kiihtynyt tasaisesta alle $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$:n vuosikymmenvauhdista (1970–2015) noin $0,35\text{ }^{\circ}\text{C}$:een vuosikymmenessä viimeisten kymmenen vuoden aikana. Jos tahti jatkuu, se johtaisi Pariisin sopimuksen $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpenemisrajan pitkäaikaiseen ylitykseen jo ennen vuotta 2030.² Jatkuva lämpeneminen lisää myös riskiä ylittää niin sanottuja keikahduspisteitä eli kriittisiä kynnyksiä, joissa ilmasto- ja ympäristöpaineet voivat johtaa äkillisiin ja peruuttamattomiin muutoksiin. Välittömässä vaarassa oleviksi järjestelmiksi on tunnistettu muun muassa lämpimien vesien koralliriutat ja ikiroudan sulaminen, mutta myös Atlantin meridionaalinen kiertoliike (AMOC), jonka heikkenemisellä voisi olla huomattavia seurauksia Suomen ilmasto-olosuhteisiin.³

Kasvihuonekaasupäästöt jatkavat yhä globaalisti kasvuaan.⁴ Vaikka suuriakin päästövähennyksiä on saavutettu, ei tahti ole riittävä saavuttamaan Pariisin sopimuksessa määriteltyä tavoitetta rajoittaa maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahteen asteeseen.

1 EEA 2024a; IPCC 2023.

2 Foster & Rahmstorf 2026.

3 Lenton ym. 2025.

4 Crippa ym. 2023.

Venäjän Ukrainassa käymän hyökkäyssodan ja Iranin sodan kaltaiset geopoliittista epävakautta luovat ilmiöt saattavat entisestään haitata ilmastonmuutoksen hillintää, kun globaali huomio kohdistuu muun muassa asevarustelun ja fossiilisten energialähteiden turvaamisen kaltaisiin, runsaasti päästöjä aiheuttaviin toimiin.

Nämä kehityskulut vaikuttavat suoraan ja epäsuorasti Suomeen, joka on vahvasti kytkeytynyt kansainväliseen talouteen ja toimitusketjuihin. Ilmastonmuutoksen globaalit seuraukset, kuten myrskyjen, helleaaltojen ja maastopalojen kaltaisten sään ääri-ilmiöiden voimistuminen, vedenkierron muutokset sekä ekosysteemien heikkeneminen aiheuttavat häiriöitä muun muassa ruoantuotantoon, kaivostoimintaan, teollisuuteen, lääkkeiden valmistukseen, maatalouden tuotantopanosten saantiin sekä logistiikkaan.

Tämä raportti käsittelee ilmastonmuutoksen ja vihreän siirtymän vaikutuksia Suomen huoltovarmuuteen. Raportti perustuu Huoltovarmuuskeskuksen (HVK) rahoittamaan ja Ulkopoliittisen instituutin toteuttamaan hankkeeseen ”Ilmastonmuutos ja Suomen huoltovarmuus” (ILHU), jonka tarkoituksena oli kartoittaa ilmastonmuutoksen vaikutuksia huoltovarmuuteen maailmanlaajuisesti ja tunnistaa erityisesti Suomen kannalta olennaisia vaikutuksia sekä parantaa edellytyksiä ilmastonmuutoksen huoltovarmuusvaikutusten ennakkointiin ja niihin varautumiseen kokonaisturvallisuuden toimintamallia hyödyntäen.

Tässä raportissa päähuomio on ilmastonmuutoksessa, mutta sitä tarkastellaan erottamattomana osana laajempaa ympäristökriisiä ja niin sanottujen planetaaristen rajojen ylittymistä. Tämä viittaa muun muassa lajikatoon, vesistöjen rehevöitymiseen, maaperän köyhtymiseen, merten happamoitumiseen ja ilmastonmuutokseen, jotka kaikki uhkaavat ekosysteemien kantokykyä ja asettavat siten planetaariset rajat yhteiskuntien toiminnalle.⁵ Ilmiöt kytkeytyvät toisiinsa. Ratkaisut ilmastonmuutoksen huoltovarmuusriskeihin voivat olla kestäviä ainoastaan, mikäli ne eivät pahenna muita ympäristökriisin osa-alueita. Viimeisimmän tutkimuksen mukaan luontokato myös aiheuttaa huoltovarmuuden ja kokonaisturvallisuuden kannalta vähintään yhtä suuria riskejä kuin ilmastonmuutos.⁶ Huoltovarmuusvaikutuksia ei siten ole mielekäästä käsitellä ottamatta huomioon laajempaa monikriisiä ja ekologista ylikuormitusta.

5 Esim. PBscience 2025; Steffen ym. 2015; Rockström ym. 2025.

6 BIODIFUL 2024; Rüttinger ym. 2022.

Hankkeen tavoitteena oli tiivistää olemassa olevaa tutkimusta, tarjota uutta tietoa ja kehittää keinoja tutkimustiedon hyödyntämiseen. Työn pohjalta on jo aiemmin julkaistu kirjallisuuteen perustuva tilannekuva ”Ilmastonmuutoksen ketjuuntuvia ja siirtymävaikutuksia”,⁷ joka toimii myös tämän raportin kirjallisuuskatsauksena. Siinä kuvataan aikaisemmassa tutkimuksessa havaittuja globaaleja ilmastomuutokseen liittyviä sekä geopolitiikkaan, talouteen ja muihin tekijöihin yhdistyviä kehityskulkuja, joilla voi olla vaikutuksia myös Suomen huoltovarmuuteen.

Tilannekuvapaperi keskittyi erityisesti elintarvike- ja energiahuoltoon, finanssialaan ja talouteen, logistiikkaan, teollisuuteen ja terveydenhuoltoon kohdistuviin vaikutuksiin. Tämä raportti tarkentaa tilannekuvaa keskittymällä erityisesti Suomen kannalta olennaisiin vaikutuksiin, joita tarkastellaan lääkehuoltoon, kriittisiin materiaaleihin, lannoitteisiin sekä sähköistymiseen kohdistuvien tapaustutkimusten avulla. Raportissa myös hahmotetaan eri alojen kannalta merkittäviä vaikutusketjuja, joita voidaan käyttää apuna ennakoinnissa ja varautumisessa. Tämän tarkastelun pohjalta esitetään suosituksia ilmastoon liittyvien riskien entistä parempaan huomioimiseen huoltovarmuuden ennakoinnissa ja varautumisessa.

Tausta ja ilmastomuutoksen vaikutusten jäsenitys

Etenevän ilmastomuutoksen seuraukset näkyvät yhä selvemmin eri puolilla maailmaa muun muassa terveysriskeinä, tuotantohäiriöinä, taloudellisinä tappioina ja pitkittyneinä kriisitiloina. Pelkästään vuonna 2024 Euroopassa äärisääilmiöt aiheuttivat 40,4 miljardin euron taloudelliset vahingot.⁸ Esimerkiksi yleistyvät ja pahenevat kuivuusjaksot haittaavat elintärkeitä toimintoja monin tavoin. Ruoantuotanto kärsii: korkeiden päästöjen skenaarioissa vehnäsadot Etelä-Euroopassa voivat laskea 49 prosenttia ja maissisadot jopa 80 prosenttia vuoteen 2050 mennessä.⁹ Jo nyt kuivuus on haitannut energiantuotantoa esimerkiksi Ranskassa, missä ydinvoimaloita oli käytettävä aliteholla jäähdytysveden puutteen vuoksi vuoden 2023 helleaallon aikana.¹⁰

7 Hakala & Räisänen 2024a.

8 EEA 2025a.

9 Jensen & Hourdin 2025.

10 Hakala 2023.

Ilmastomuutoksen vaikutuksista turvallisuuteen ja yhteiskunnan kriittisiin toimintoihin on olemassa jonkin verran tutkimusta kansainvälisesti ja hiukan myös Suomen osalta. Esimerkiksi lisääntyvien äärisäätilojen kuten myrskyjen ja helteiden on todettu uhkaavan ihmishenkiä ja aiheuttavan häiriöitä muun muassa energian- ja ruoantuotantoon.¹¹ Aiempi kirjallisuus painottuu usein juuri äärisäätilojen kaltaisiin suoriin riskeihin, mutta Suomen kaltaiselle avoimelle ja ulkomaankaupasta riippuvalle maalle olennaisempia voivat olla valtionrajoja ylittävät ja erilaisiin yhteiskunnallisiin, poliittisiin sekä taloudellisiin tekijöihin yhdistyvät vaikutukset.¹²

Useiden eri valtioiden riskianalyysissä on arveltu, että ylijärjestykset ilmastomuutoksen vaikutukset ovat vähintään yhtä suuret kuin suorat vaikutukset.¹³ Niiden tarkka arviointi on kuitenkin vaikeaa. Esimerkiksi EEA:n ilmastoriskiarvion mukaan alakanttiin suuruusluokaltaan asettuu EU:n Yhteisen tutkimuskeskuksen (JRC) arvio, jonka mukaan EU:lle kaupan kautta aiheutuvat taloudelliset seuraukset ilmastomuutoksen rajat ylittävistä vaikutuksista ovat 10,32 miljardia euroa vuodessa 2 °C:n lämpenemisskenaariossa ja 27,38 miljardia euroa 3 °C:n skenaariossa. EEA toteaa, etteivät nämä arviot riittävästi huomioi lukuisten ilmastollisten ja muiden tekijöiden välistä vuorovaikutusta eivätkä häiriöiden ketjuuntuvia vaikutuksia. EEA myös huomauttaa, että ilmastomuutoksen seuraukset ovat realisoituneet nopeammin ja vakavammin kuin useimmat ilmastomallit olivat ennakoineet.¹⁴

Riskien hahmottaminen edellyttää niiden jäsentämistä. Tässä raportissa ne on jaettu aikaisemmassa tutkimuksessa esitetyn jäsenyyksen¹⁵ mukaisesti kolmeen kategoriaan: suoriin, ketjuuntuviin ja siirtymäriskeihin. *Suorat* riskit viittaavat ilmastomuutoksen aiheuttamiin tai voimistamiin luonnonilmiöihin ja niistä seuraaviin vahinkoihin ihmisille, infrastruktuurille ja ekosysteemeille. *Ketjuuntuvien* riskien tapauksessa ilmastotekijät yhdistyvät poliittisiin, taloudellisiin ja valtionrajoja ylittäviin vaikutuksiin. Esimerkiksi poikkeukselliset sääolot eri puolilla maailmaa aiheuttavat toimitusketjuissa tuotantovaikeuksia ja häiriöitä, jotka voivat lisäksi pahentua viennin ja tirajoitusten kaltaisista politiikkatoimista. *Siirtymäriskit* viittaavat ilmastomuutoksen hillinnästä syntyviin seurauksiin, kuten kestävän

11 Esim. Carter ym. 2021.

12 Hakala ym. 2021.

13 Ks. EEA 2024a, 292.

14 EEA 2024a.

15 Hakala ym. 2021.

energiantuotannon edellyttämien raaka-aineiden aiheuttamiin uusiin riippuvuussuhteisiin.

Aiemman tutkimuksen perusteella Suomen huoltovarmuuden kannalta huomiota vaativat erityisesti ketjuuntuvat ja siirtymäriskit, joiden merkitys maailmankaupasta ja kansainvälisen sääntöpohjaisen järjestelmän toimivuudesta riippuvaiselle pienelle valtiolle voivat olla suuret.¹⁶ Ilmastomuutoksen suorat vaikutukset Suomen huoltovarmuuteen puolestaan on esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen aiemmassa tutkimuksessa todettu verrattain vähäisiksi ja hallittavissa oleviksi.¹⁷ Tässä raportissa keskitytään siten ensisijaisesti ketjuuntuviin ja siirtymäriskeihin.

Ilmastomuutos osana Suomen kokonaisturvallisuutta ja huoltovarmuutta

Suomen turvallisuuspolitiikkaa määrittää kokonaisturvallisuuden malli, jonka tavoitteena on varmistaa yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen ylläpito viranomaisten, yksityisen sektorin, kansalaisjärjestöjen ja kansalaisten yhteistyössä. Malli perustuu siten laajaan turvallisuuden ymmärrykseen sekä kattavaan joukkoon toimijoita ja käytäntöjä. Se muodostaa pohjan Suomen yhteiskunnan kriisinkestävyydelle ja vaurautumiselle. Tarkoituksena on turvata yhteiskunnan toimivuutta niin normaalioloissa, häiriötilanteissa kuin poikkeusoloissa.

Kokonaisturvallisuus perustuu myös laajaan uhkakäsitykseen, jonka mukaan elintärkeisiin toimintoihin kohdistuu paitsi ihmisten aiheuttamia, myös teknologisesta kehityksestä syntyviä ja ekologisen ympäristön muutoksista johtuvia uhkia.¹⁸

Lähtökohtana kokonaisturvallisuuden toimeenpanolle on yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen toteutuminen. Elintärkeitä toimintoja on seitsemän: johtaminen, kansainvälinen ja EU-toiminta, puolustuskyky, sisäinen turvallisuus, talous, infrastruktuuri ja huoltovarmuus, väestön toimintakyky ja palvelut sekä henkinen kriisinkestävyys. Toiminnot ovat monin tavoin toisistaan riippuvia: esimerkiksi talouden, infrastruktuurin ja huoltovarmuuden avulla mahdollistetaan muiden elintärkeiden toimintojen edellyttämä rahoitus ja resurssit. Käytännössä elintärkeitä toimintoja turvataan

¹⁶ Hakala ym. 2021.

¹⁷ Mäkelä ym. 2022.

¹⁸ Turvallisuuskomitea 2025.

toimeenpanemalla lainsäädäntöön perustuvia, sopimuksin vahvistettuja ja vapaaehtoisuudella täydennettyjä strategisia tehtäviä, joista kullekin on nimetty vastuuministeriö.¹⁹

Koska elintärkeisiin toimintoihin kohdistuvat uhat ovat monimutkaisia ja laaja-alaisia, ei kaikkiin häiriö- tai kriisitilanteisiin ole mahdollista varautua erikseen. Siksi tarvitaan pitkäjänteistä kriisinkestävyttä, jonka tavoitteena on pienentää uhkien todennäköisyyttä ja parantaa edellytyksiä hallita ja rajata niitä. Yhteiskunnan turvallisuusstrategiassa erotellaan jatkuva, pitkällä aikavälillä tapahtuva varautuminen ja rajattu, ensisijaisesti uhkan ilmetessä tapahtuva vaste. Varautuminen käsittää muun muassa toimintatapojen kehittämistä, resurssien käytön suunnittelua, koulutusta, tiedonvälitystä ja harjoittelua. Vasteen tavoitteena on varmistaa asianmukaiset, sopivasti mitoitettut ja oikea-aikaiset toimet sekä resurssit uhan toteutuksessa. Tämä edellyttää muun muassa riittävän tarkkaa tilannekuvaa ja ajantasaista päätöksentekoa.²⁰

Huoltovarmuus on yksi elintärkeistä toiminnoista, mutta samalla oma, keskeinen varautumisen osa-alueensa Suomen kokonaisturvallisuudessa. Se viittaa toimintaan, jonka tarkoituksena on turvata väestön toimeentulon, maan talouselämän ja maanpuolustuksen kannalta välttämätön tuotanto, palvelut ja infrastruktuuri vakavien häiriötilanteiden ja poikkeusolojen varalta. Kuten kokonaisturvallisuudessa laajemmin, myös huoltovarmuuden toteutuksessa korostetaan valtion ja yksityissektorin yhteistyötä. Yrityksillä on vastuu omasta varautumisestaan mutta myös sektorilainsäädännössä määriteltujen huoltovarmuuteen liittyvien velvoitteiden täyttämisestä. Huoltovarmuusyhteistyötä toteutetaan Huoltovarmuuskeskuksen (HVK) koordinoimana alakohtaisissa sektoreissa, pooleissa ja toimikunnissa, ja siihen osallistuu yrityksiä, viranomaisia ja järjestöjä.²¹

Huoltovarmuuden toimintaympäristö on muuttunut olennaisesti viime vuosina muun muassa COVID-19-pandemian ja Venäjän hyökkäyssodan myötä. Valtioneuvoston päätöksessä vuodelta 2024 korostetaan siten muun muassa kriittisen infrastruktuurin ja palveluiden suojaamista, kyberturvallisuutta, kriittisimpien hyödykkeiden saatavuutta ja vastaamista hybridiuhkiin. Entistä tärkeämpään rooliin on noussut tilannekuva- ja ennakointityö, joka tukee myös huoltovarmuuskriittisten organisaatioiden jatkuvuudenhallintaa,

19 Turvallisuuskomitea 2025.

20 Turvallisuuskomitea 2025.

21 Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista 568/2024.

sekä esimerkiksi valtioneuvoston kansliassa tehtävä strateginen ennakkointi.²²

Kokonaisturvallisuuden toimintamalli tarjoaa hyödyllisen pohjan ympäristöasioiden huomioimiseen ja niihin liittyviin riskeihin varautumiseen, sillä toimialarajat ylittävä, ennakoiva ja monen eri toimijan yhteistyöhön perustuva näkökulma helpottaa aseoitumista ympäristökriisin kaltaiseen moniulotteiseen ja pitkäaikaiseen uhkaan.²³ Ympäristöön ja ilmastoon liittyvät uhkat huomioidaan Yhteiskunnan turvallisuusstrategiassa muun muassa Suomen luontoon kohdistuvina suorina vaikutuksina, kuten kasvavana tulvariskinä.²⁴ Kansallisessa riskiarviossa käsitellään ilmastomuutosta toimintaympäristön muutoksena, joka käsittää myös Suomen ulkopuolelta tulevat ilmiöt, kuten toimitusketjuhäiriöt tai talousvaikutukset sekä siirtymävaikutukset, kuten muuttuvat resurssitarpeet.²⁵ Ilmastomuutokseen liittyviä riskejä on tarkasteltu myös kansallisessa ilmastomuutokseen sopeutumisen suunnitelmassa, jossa edellytetään ilmastomuutoksen huoltovarmuusriskien selvittämistä.²⁶ Kokonaisuudessaan ympäristöön liittyvä riskikäsitys on kuitenkin toistaiseksi jäänyt kokonaisturvallisuudessa suhteellisen pinnalliselle tasolle tai omaksi osa-alueekseen eikä muodostunut syvällisemmäksi riskianalyysien jäsennellyksi osaksi.

Valtioneuvoston tutkimus- ja selvitystoiminnan tilaamassa raportissa Hakala ym. ovat tarkastelleet ilmastomuutoksen suoria, ketjuuntuvia ja siirtymävaikutuksia Suomen kokonaisturvallisuuteen jäsentämällä niitä elintärkeisiin toimintoihin vaikuttavien riskien kautta. Heidän mukaansa globaalit ilmastovaikutukset voivat aiheuttaa yleistäviä ja pahenevia häiriöitä kansainvälisissä toimitusketjuissa, tärkeiden raaka-aineiden ja teollisuustuotteiden tuotantohäiriöitä ja seurauksia kauppaan, rahoitukseen, geopolitiikkaan, infrastruktuuriin, muuttoliikkeisiin ja kriisinkestävyyteen. Lisäksi siirtymävaikutuksia voi ilmetä muun muassa muuttuvina raaka-aineiden tarpeina, niihin liittyvän resurssikilpailun kiristymisenä ja tuotantoedellytysten muutoksina.²⁷

22 Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista 568/2024.

23 Räisänen ym. 2021.

24 Turvallisuuskomitea 2025.

25 Sisäministeriö 2023.

26 Kansallisen ilmastomuutokseen sopeutumis suunnitelman valmisteluryhmä ja sihteeristö 2023.

27 Hakala ym. 2021.

Tutkimuskysymykset ja menetelmät

Raportin analyysiä ohjasi kaksi tutkimuskysymystä, jotka jäsensivät teemoja suhteessa aikaisempaan tutkimuskirjallisuuteen ja joiden avulla määäräytyivät tarkempi aineisto sekä menetelmät. Tutkimuskysymykset olivat:

- Mitkä ovat keskeisimpiä ketjuuntuvia vaikutuksia ja siirtymävaikutuksia, joita ilmastonmuutoksesta seuraa Suomen huoltovarmuudelle?
- Millaisin konkreettisin keinoin ilmastonmuutoksen huoltovarmuusvaikutuksia voidaan ennakoida ja miten niihin voidaan varautua?

Kysymykset jaettiin kahdeksi tutkimuskokonaisuudeksi, joiden alla hyödynnettiin erilaisia menetelmiä:

- 1) *Hanke kartoittaa ja analysoi ilmastonmuutoksen vaikutuksia huoltovarmuuteen maailmanlaajuisesti ja tunnistaa erityisesti Suomen kannalta olennaisia vaikutuksia*

Hankkeessa selvitettiin ilmastonmuutoksen ketjuuntuvia vaikutuksia ja siirtymävaikutuksia huoltovarmuuteen analysoimalla niiden taustalla olevien ekologisten, geopoliittisten ja geoeconomisten tekijöiden yhteisvaikutuksia. Tarkastelussa painotettiin äkillisten ja lyhytaikaisten shokkien sijaan ilmastonmuutoksen pitkäkestoisia trendejä ja pysyviä muutoksia.

Huoltovarmuuteen kohdistuvien ketjuuntuvien ja siirtymävaikutusten kartoittaminen alkoi kirjallisuuskatsauksella, jossa käytiin läpi aiempaa tutkimusta ilmastonmuutoksen vaikutuksista muun muassa toimitusketjuihin, tuotantoon eri aloilla sekä laajaan turvallisuuteen. Kirjallisuuskatsauksen perusteella muodostettiin yleistason tilannekuva todennäköisistä globaaleista vaikutusketjuista, joita ilmastonmuutoksen aikaansaamat trendit aiheuttavat ja joilla on seurauksia huoltovarmuudelle. Selvityksen tulosten perusteella valittiin neljä Suomelle keskeistä vaikutusketjua, joista syntyviä potentiaalisia seurauksia huoltovarmuudelle analysoitiin yksityiskohtaisemmin tapaustutkimuksina, joissa hyödynnettiin myös haastatteluja ja työpajatyöskentelyä. Tapaustutkimuksia kuvataan tarkemmin alla.

2) *Hankkeessa parannetaan edellytyksiä ilmastomuutoksen huoltovarmuusvaikutusten ennakointiin ja niihin varautumiseen kokonaisturvallisuuden toimintamallia hyödyntäen*

Hankkeen tavoitteena oli tuoda tietoa ilmastomuutoksen huoltovarmuusvaikutuksista sovellettavaksi käytäntöön kansallisessa ennakoinnissa ja varautumisessa. Siksi hankkeen toisessa kokonaisuudessa keskityttiin kehittämään keinoja tunnistettujen huoltovarmuusvaikutusten ennakoinnin ja niihin varautumisen tueksi. Tässä tärkeä rooli oli Huoltovarmuuskeskuksella ja muilla huoltovarmuusorganisaation toimijoilla, joiden kanssa käydyn vuoropuhelun avulla varmistettiin, että kehitetyt keinot ovat käyttökelpoisia osana olemassa olevia toimintatapoja.

Kahdessa huoltovarmuusorganisaation kanssa järjestetyssä työpajassa muodostettiin parempaa tilannekuvaa ilmastomuutokseen liittyvistä riskeistä ja niiden ennakoinnista, mutta myös kartoitettiin edellytyksiä entistä toimivammille ennakointi- ja varautumiskeinoille. Tapaustutkimusten ja työpaja-aineiston pohjalta muodostettiin ilmastomuutokseen liittyvien riskien analyysikehikko, jota on mahdollista käyttää ennakoinnin ja varautumisen tukena.

Tapaustutkimukset

Osana Ilmastomuutos ja Suomen huoltovarmuus (ILHU) -tutkimushanketta toteutettiin neljä tapaustutkimusta, joiden aiheet valittiin alustavien asiantuntijahaastatteluiden sekä tilannekuvaraportin perusteella. Kussakin tapaustutkimuksessa tutkittiin yksittäistä, Suomelle keskeistä vaikutusketjua, josta syntyviä potentiaalisia seurauksia huoltovarmuudelle analysoidaan yksityiskohtaisesti koko ketjun pituudelta. Tavoitteena oli ymmärtää huoltovarmuusvaikutuksiin johtavia vuorovaikutussuhteita. Tapaustutkimusten aiheiksi valikoituivat lääkehuolto, energiasiirtymän kriittiset raaka-aineet, lannoitteet sekä energiajärjestelmän sähköistyminen.

Analyysissä keskityttiin paitsi ilmastomuutoksen vaikutuksiin, myös vihreään siirtymään ja laajemmin geopolittisiin ja geoekonomisiin muutoksiin liittyviin tekijöihin. Analyysi pohjautui muun muassa IPCC:n ja IL:n julkaisuihin, CASCADES- ja MISTRA Geopolitics -hankkeiden tuotoksiin sekä Suomea koskeviin ilmastoturvallisuus- ja huoltovarmuusselvityksiin. Vihreään siirtymään liittyviä muutoksia tunnistettiin esimerkiksi EU:n energiamurrosta ja kriittisten

materiaalien turvaamista koskevien strategioiden ja ohjelmien sekä muun muassa Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) ja BIOS-tutkimusyksikön tekemien laskelmien perusteella.

Sähköistymiseen liittyvän tapaustutkimuksen analyysin suorittivat hankkeen konsultteina toimineet Antti Majava ja Pekka Passi Käänekohta t&k:sta. Energiajärjestelmän sähköistymisen vaikutuksia huoltovarmuuteen kuvaava tapaustutkimus perustuu kotimaisten ja pohjoismaisten energiasektorin organisaatioiden julkaisemien raporttien, tilastojen, järjestelmädatan sekä tutkimuskirjallisuuden pohjalta laadittuun tilannekuvaan. Erilaisten muutostekijöiden vaikutuksia huoltovarmuuteen analysoitiin raportin tekijöiden energia-sektorin työkokemuksen ja energia-alan verkostoissa aihepiiristä käytyjen keskustelujen pohjalta.

Haastattelut

Tutkimus perustuu laadulliseen tutkimusotteeseen, jossa yhdistettiin kirjallisuuskatsaus, dokumenttiaineistojen analyysiä sekä asiantuntijahaastatteluja. Lähestymistavan tavoitteena oli tunnistaa ilmastomuutoksen huoltovarmuusvaikutuksiin liittyviä keskeisiä mekanismeja sekä tarkentaa ja validoida kirjallisuudesta esiin nousevia havaintoja tapaustutkimusten kontekstissa.

Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina asiantuntijahaastatteluina. Tapaustutkimuksia varten haastateltiin yhteensä 53 henkilöä. Lääkehuoltoa koskevaa tapaustutkimusta varten haastateltiin kolmeatoista asiantuntijaa keväällä 2025. He edustavat viranomaisia (4 hlöä), yrityksiä (4 hlöä), edunvalvontajärjestöjä (2 hlöä) sekä tutkijoita (3 hlöä). Energiasiirtymän kriittisiä raaka-aineita koskevaa tapaustutkimusta varten haastateltiin 29 asiantuntijaa syksyllä 2024. Haastatellut edustavat viranomaisia (6 hlöä), tutkijoita (14 hlö), edunvalvontajärjestöjä (4 hlöä), yrityksiä (2 hlöä) sekä järjestöjä (3 hlöä). Lannoitteita koskevaa tapaustutkimusta varten haastateltiin yhtätoista asiantuntijaa syksyllä 2025. He edustavat viranomaisia (2 hlöä), tutkijoita (7 hlöä), yrityksiä (1 hlö) ja edunvalvontajärjestöä (1 hlö).

Haastateltavat valittiin tarkoituksenmukaisella otannalla siten, että mukaan saatiin kunkin tarkastellun tapauksen keskeisiä toimijoita sekä aihepiiriä syvällisesti tuntevia asiantuntijoita. Valinta perustui kirjallisuuskatsauksen, sidosryhmäkartoituksen ja hankkeen aikana käytyjen asiantuntijakeskustelujen perusteella muodostettuun käsitykseen keskeisistä organisaatioista ja toimijaryhmistä.

Haastattelut kestivät keskimäärin tunnin ajan, ja ne nauhoitettiin haastateltavien luvalla.

Haastattelujen tavoitteena oli tarkentaa kirjallisuus- ja dokumenttiaineistojen perusteella tunnistettuja vaikutusketjuja, tunnistaa käytännön toimijoiden näkökulmasta keskeisiä haavoittuvuuksia ja epävarmuuksia sekä validoida ja täydentää analyysiä ketjuuntuvien ja siirtymävaikutusten osalta. Haastatteluaineisto analysoitiin laadullisesti teemoittelemalla. Analyysissa kiinnitettiin huomiota tekijöihin, jotka yhdistävät ilmastoon liittyviä riskejä taloudellisiin, geopoliittisiin ja teknologisiin kehityskulkuihin. Lisäksi tarkasteltiin erityisesti vaikutusketjujen muodostumista, keskeisiä haavoittuvuuksia sekä mekanismeja, joiden kautta häiriöt voivat välittyä sektorien ja maantieteellisten alueiden välillä. Haastatteluissa kartoitettiin myös varautumisen mahdollisuuksia ja keinoja tunnistettujen riskien hallitsemiseksi.

1. Tapaustutkimus: Lääkehuolto

Helmi Räisänen & Emma Hakala

1.1 Tiivistelmä

Tapaustutkimuksen aihe: Ilmastonmuutoksen ja geopolitiikan vaikutukset lääkkeiden, henkilönsuojainten ja lääkinnällisten laitteiden toimitusvarmuuteen.

Tutkimuskysymys: Miten ilmastonmuutos, geopolitiittiset jännitteet ja logistiset häiriöt voivat heikentää Suomen lääkehuollon huoltovarmuutta?

Ilmastonmuutos ja kestävyysmurros vaikuttavat lääkkeiden tuotantoon ja toimitusvarmuuteen monin tavoin. Merkittävä osa Euroopassa käytettävien ja valmistettavien lääkkeiden raaka-aineista tulee Aasiasta, erityisesti Kiinasta ja Intiasta. Keskittyneet tuotantoketjut ovat alttiita sään ääri-ilmiöille, infrastruktuurihäiriöille, vesipulalle ja geopolitiittisille jännitteille. Esimerkiksi tulvat ja myrskyt ovat jo

useissa tapauksissa keskeyttäneet lääketehtaiden toiminnan tai hidas-
taneet logistiikkaa.

Lääkkeiden saatavuushäiriöt ovat lisääntyneet Suomessa ja EU:ssa, ja niiden taustalla on usein monitekijäisiä syitä: kapasiteetti- ja laatuongelmia, kysyntäpiikkejä, kaupallisia vetäytymisiä, harvoin toimittajiin keskittyneitä arvoketjuja sekä globaaleihin kuljetusketjuihin kohdistuvia häiriöitä. Häiriöt voivat myös ketjuuntua saman lääkeryhmän sisällä ja laajentua nopeasti useisiin valmisteisiin. Raportointi saatavuushäiriöistä on kuitenkin puutteellista ja vaihtelevaa, eikä se paljasta systemaattisia tekijöitä häiriöiden taustalla.

Geopoliittiset riskit – kuten kauppasodat, vientikiellot, strategisten raaka-aineiden kontrollointi ja konfliktien vaikutukset merireitteihin – voivat äkillisesti horjuttaa lääkkeiden raaka-aineiden saatavuutta. Lääkkeiden ja niiden ainesosien tuotantoketjujen globaali keskittyminen tekee alasta alttiin myös poliittiselle painostukselle ja markkinahäiriöille.

Samanaikaisesti ilmastonmuutoksen terveysvaikutusten arvioidaan lisäävän monien lääkkeiden kysyntää, esimerkiksi tartuntatautien, sydän- ja verisuonisairauksien sekä mielenterveyden häiriöiden esiintyvyyttä kasvaa ääri-ilmiöiden yleistyessä. Yhtälö, jossa sekä tarjontaan että kysyntään kohdistuu yhtäaikaista paineita, voi lisätä lääkepuulan riskiä tulevaisuudessa.

Suomessa velvoitevarastointi on merkittävä vahvuus saatavuushäiriöiden hallinnassa, mutta se ei yksin riitä turvaamaan lääkkeiden saantia pitkittyneissä tai päällekkäisissä kriiseissä. EU-tason toimet, kuten kriittisten lääkkeiden listat, yhteishankinnat, HERA:n ja EMA:n vahvistettu rooli sekä uusi ESMP-seurantajärjestelmä muodostavat kehyksen, jonka puitteissa toimitusvarmuutta pyritään parantamaan. Lääkehuollon toimitusvarmuus on yhä riippuvaisempi globaaleista arvoketjuista, joihin kohdistuu samanaikaisesti ilmastonmuutoksen, markkinamekanismien ja geopoliittisten ristiriitojen tuottamia paineita. Suomi tarvitsee sekä kansallisia että EU-tason ratkaisuja, jotka vahvistavat toimitusketjujen resilienssiä ja turvaavat kriittisten tuotteiden saannin myös muuttuvassa maailmassa.

Alla on kuvattu tapaustutkimuksen keskeisiä tuloksia kirjallisuuskatsaukseen ja haastatteluaineistoon perustuen, pois lukien varautumisen keinot, jotka on tiivistetty erikseen osiossa *Varautumisen keinot*.

- Lääkkeiden tuotanto ja raaka-ainetuotanto ovat vahvasti keskittyneet Kiinaan ja Intiaan, mikä kasvattaa geopolitiikkaan, ilmastonmuutokseen ja logistiikkaan liittyvien häiriöiden riskiä.
- EU:n ja Suomen lääkemarkkinoiden rakenteelliset haavoittuvuudet – pirstaleiset markkinat, Suomen pieni markkinaosuus ja matala hintataso – heikentävät kaupallista houkuttelevuutta ja vaikeuttavat toimitusvarmuuden turvaamista.
- Ilmastonmuutos voi lisätä tuotanto- ja toimitusketjujen häiriöitä myrskytuhojen, tulvien, helleaaltojen, infrastruktuuri- vaurioiden ja vesiriskien kautta. Erityisesti lääketeollisuuden teollisuuspuistojen keskittymät Kiinassa ja Intiassa ovat alttiita näille vaikutuksille.
 - Vesiriskit ovat keskeinen ja aliarvioitu haavoittuvuus.
 - Joissain lääkkeissä ja lääkinnällisissä laitteissa on ainesosia, joiden tuotanto-olosuhteita ilmastonmuutos voi heikentää.
 - Sään ääri-ilmiöt, pandemiat ja konfliktit voivat ajoittain lisätä tiettyjen lääkkeiden kysyntää aiheuttaen haasteita tuotannon riittävyydelle.
- Ilmastonmuutoksen vaikutusta lääkkeiden arvoketjujen häiriöihin ei juurikaan ole arvioitu aikaisemmissa selvityksissä tai tutkimuksissa, eikä geopolitiikan ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutuksia lääkkeiden saatavuushäiriöihin ole tarkasteltu.
 - Geopolitiikan ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutukset lääkkeiden saatavuuteen olisi tärkeä jatkotutkimuksen aihe.
- Logistiset ketjut ja niiden solmukohdat – kuten satamat, rautatieyhteydet ja kylmäketjut – ovat herkkiä ilmastonmuutoksen ja geopolitiittisten kriisien aiheuttamille häiriöille.
- Geopoliittiset jännitteet ja kauppapoliittiset toimet (tuontitullit, vientikiellot, pakotteet) voivat nopeasti vaikuttaa raaka-aineden ja lääkkeiden saatavuuteen. Lääkkeet voivat muodostua geopolitiittisen painostuksen välineeksi, ja jotkin lääketeollisuuden käyttämät raaka-aineet ovat jo kauppasodan kohteena.
 - Useat maat pyrkivät kasvattamaan omavaraisuuttaan lääkkeiden tuotannossa tai kasvattamaan varmuusvarastojaan, mikä voi vaikuttaa lääkkeiden globaaliin saatavuuteen.
- Kestävyyssiirtymä ja uusi EU-sääntely, kuten ns. jätevesi-direktiivi, lisäävät yritysten kustannuksia ja voivat vaikuttaa erityisesti geneeristen lääkkeiden kannattavuuteen. Samalla

vihreä farmasia ja *sustainable-by-design*-toimet ovat avainasemassa kilpailukyvyn varmistamisessa.

- Suomen vahvuutena on velvoitevarastointi, joka on osoittanut toimivuutensa kriiseissä (mm. COVID-19). Haasteena on kuitenkin varastojen rajallinen kesto, tuotteiden vanheneminen ja tarve päivittää varastoitavien lääkkeiden ja laitteiden listaa.
- EU:n varautumisrakenteet – EMA, HMA, HERA, kriittisten lääkkeiden listat ja ESMP-seurantajärjestelmä – vahvistuvat, mutta edellyttävät tiivistä koordinoitua ja tiedonvaihdon kehittämistä.

1.2 Lääkemarkkinat ja lääkkeiden tuotanto

1.2.1 Lääkemarkkinat

Lääkemarkkinat ovat **sekoitus tiukkaa sääntelyä ja toisaalta hyödyke-markkinoiden lainalaisuuksia**. Lääkeyritykset pyrkivät kannattavaan liiketoimintaan valmistekohtaisesti. Lääkkeiden korvattavuus vaikuttaa myös kokonaisuuteen. EU:n lääkemarkkinat eivät määrity monen muun hyödykkeen markkinoiden tavoin kuluttajien valintojen kautta, vaan niihin vaikuttavat sääntely ja suuret institutionaaliset ostajat. Lääkkeiden hyväksymismenettelyt ja niihin liittyvät laatu- ja turvallisuusvaatimukset ovat yhtenäiset EU-tasolla, mutta lääkkeiden hinnoittelu ja korvaaminen tapahtuu kansallisesti jäsenvaltioiden tasolla.²⁸ Näin ollen EU:n lääkemarkkinat ovat pirstaleiset, vaikka EU muodostaakin maailman toiseksi suurimmat lääkemarkkinat. Terveystieteiden tutkimusjärjestelmien järjestäminen kuuluu jäsenvaltioiden kansalliseen toimivaltaan, mikä mahdollistaa päätösten tekemisen lähempänä potilasta, mutta tuo myös eroja sekä hinnoitteluun että lääkkeiden saatavuuteen.²⁹

Viimeisimpinä vuosikymmeninä globaali lääkeala on **finansialisoitunut**, mikä näkyy suurimpien lääkeyhtiöiden liiketoimintamalleissa. Investoinnit rahoitustoimintaan ja yritysostoihin ovat lisääntyneet, ja vähemmän resursseja on suunnattu tuotantovälineisiin ja tuoteinnovaatioihin. Tämä on lisännyt myös firmojen velkaantuneisuutta sekä tehnyt niistä haavoittuvampia talouskriisille ja riippuvaisempia pääomamarkkinoiden liikkeistä. 2000-luvun alussa toimintaa ulkoistettiin voimakkaasti Euroopassa, ja esimer-

²⁸ Grumiller ym. 2021.

²⁹ European Commission 2023a.

kiksi viimeinen parasetamolia valmistava tehdas suljettiin Euroopassa vuonna 2008.³⁰

Useat tätä tutkimusta varten haastatelluista lääkealan asiantuntijoista, viranomaisista ja teollisuuden edustajista toivat esiin sen, että Suomessa on **alhaiset lääkkeiden hinnat** suhteessa muuhun Eurooppaan – ja että tämä heikentää Suomen suhteellista asemaa lääkkeiden saatavuuden näkökulmasta. Lääkeyhtiöt valitsevat ensisijaisesti kaupallisin perustein ne alueet, joilla ne ylläpitävät lääkkeiden saatavuutta.³¹ Eräs haastateltava kuvaili, että sen jälkeen kun lääkkeiden tukkuhintoja leikattiin 1.3.2025, kahdeksan valmistetta poistui markkinoilta, vaikka niiden hinta laski vain 1,5 prosenttia. Lisäksi rinnakkaisviennin riski voi kasvaa, jos Suomen tukkuhinnat ovat alhaisemmat kuin muualla Euroopassa. Eräs alan edustaja kuvaili, että sairaaloiden lääkkeiden kilpailutuksissa tarjousten lukumäärä on laskenut kymmenen vuoden aikana esimerkiksi antibioottien kohdalla. Alalla on siis aikaisempaa vähemmän toimijoita, ja vähäinen toimijoiden määrä lisää aina häiriöiden riskiä.

Moni korosti **Suomen pientä markkinaosuutta** EU:n lääke-markkinoista (1,3 prosenttia) riskitekijänä. Sekä kansallisten että eurooppalaisten **lääkemarkkinoiden toimivuus** nähtiin tärkeäksi lääkkeiden saatavuuden näkökulmasta. Ongelmallisia ovat esimerkiksi isot sairaalahankintojen kilpailutukset, jotka ajoittuvat päällekkäin. Nykyinen kilpailutusrytmi keskittää myynnin harvoille voittajille, mikä pakottaa hävinneet yritykset lopettamaan kriittisten lääkkeiden tuotantoa, minkä seurauksena markkinoiden dynamiikka heikkenee, ja velvoitevarastoitavia lääkkeitä voi kadota valikoimasta. Nykyisin hankinta- ja kilpailutusmekanismit painottavat alhaista hintaa, mikä osaltaan kannustaa lääkeyhtiöitä valitsemaan esimerkiksi ne sopimusvalmistajat, jotka voivat tuottaa vaikuttavan lääkeaineen mahdollisimman edullisesti. Useat haastateltavat peräänkuuluttivat yhteiskunnallista keskustelua siitä, mitä huoltovarmuudesta halutaan maksaa ja kenen lääkehoidon jatkuvuus on turvattava. Moni korosti, että mahdollisimman alhainen lääkkeiden hintataso on hankala yhdistää mahdollisimman hyvään lääkkeiden saatavuuteen. Eräs haastateltavista ehdotti, että kustannusten hillintää voisi hintojen alentamisen sijaan saavuttaa rationaalisen lääkehoidon kautta, ja myös lääkkeetön hoito voisi olla osa huoltovarmuutta.

30 Grumiller ym. 2021; IQVIA 2020; Skender & Zhang 2024.

31 Lehtinen ym. 2022.

1.2.2 Tuotantoketjut

Lääkkeiden tuotantoketjut ovat pitkiä ja monimutkaisia. Fimea kuvaa esimerkin lääkkeiden tuotantoketjusta: Euroopassa voi sijaita lääketehdas, joka on ulkoistanut tuotantokustannusten vuoksi lääkevalmistusta Aasiaan sopimusvalmistajalle. Aasiaan sijoittuva sopimusvalmistaja on voinut puolestaan hankkia vaikuttavan lääke- aineen ja muita raaka-aineita kolmansilta toimijoilta. Edelleen toinen lääketehdas voi pakata tuotetut lääkevalmisteet jonkin toisen toimijan valmistamiin pakkausmateriaaleihin ennen kuin pakkaukset kuljetetaan Eurooppaan. EU:ssa lääketehdas tarkastaa EU:n ulkopuolelta tuodut valmisteet, mahdollisesti ulkoistetun toimijan kautta. Lääkkeet kuljetetaan keskusvaraston kautta lopulta Suomeen tukkukauppaan, josta ne kuljetetaan esimerkiksi apteekkeihin.³² Erään selvityksen mukaan Kanadassa kulutettu epilepsian hoitoon tarkoitettu klonatsepaamitabletti on matkannut tuotantonsa aikana ainakin 63 162 kilometriä.³³ Lääkkeiden arvoketjuun sisältyy lisäksi muun muassa itse lääkkeen kehittäminen tutkimus- ja kehitystyön kautta ja uusien lääkkeiden hyväksyminen kliinisten tutkimusten kautta.³⁴

Sekä lääkkeiden että lääkinnällisten laitteiden **tuotantoketjujen haavoittuvuudella voi olla monia kriteereitä**, joista keskeisimpiä Grumiller ym. mukaan ovat tuontiriippuvuuden aste, mahdollisuudet korvata puuttuva tuote, korvaavan tuotteen tuontiriippuvuuden aste, tuotannon keskittyminen (toimittajayritysten määrä), tuottajien maantieteellisen keskittymisen aste, tuotantoketjun monimutkaisuus ja kriittisten tuotantopanosten toimitushaasteiden todennäköisyys. Joissain tapauksissa voi olla myös aiheellista tarkastella valmistukseen tarvittavien laitteiden valmistusta ja sen keskittyneisyyttä, mikäli tuotantoa tulisi esimerkiksi kriisitilanteessa kasvattaa.³⁵ Grumiller ym. eivät sisällä analyysiinsä ostaja- ja tuottajamaiden poliittis-taloudellisia piirteitä tai keskinäisiä suhteita, jotka voivat myös vaikuttaa lääkkeiden saatavuuteen. Tämän tutkimuksen haastateltavat tarkastelisivat näiden tekijöiden lisäksi ainakin markkinoiden kokoa ja hintatasoa (lääkeyhtiöt panostavat tuottaviin markkinoihin), yritys- fuusioita alalla sekä Suomen näkökulmasta logistiikkaa, mukaan lukien konttien saatavuutta ja hintaa (merikuljetusten suuren merkityksen vuoksi), ja kansallisten pakkausvaatimusten roolia.

³² Lehtinen ym. 2022.

³³ Kaur ym. 2025.

³⁴ Raza ym. 2021.

³⁵ Grumiller ym. 2021; myös IQVIA 2020.

Lääkkeet koostuvat **vaikuttavista lääkeaineista** (*active pharmaceutical ingredient, API*) ja **apuaineista**. Apuaineet voivat olla eläin-, kasvi- tai kivennäisperäisiä, ja niitä saatetaan käyttää myös elintarvikkeissa ja kosmetiikassa. Ne voivat esimerkiksi säädellä lääkeaineen vapautumisnopeutta tai ne voivat toimia täyteaineina. Lähtöaineen lisäksi vaikuttavien lääkeaineiden valmistukseen tarvitaan myös esimerkiksi välituotteita ja muita raaka-aineita. Vaikuttavan aineen tuotantoprosessi voi olla erittäin energiantensiivinen ja mahdollisesti myös saastuttava. Tuotantoketjut ovat lyhyempiä biologisten lääkkeiden kohdalla verrattuna kemiallisella synteesillä valmistettuihin lääkkeisiin.³⁶

Euroopan lääketeollisuus on erikoistunut lääkkeiden kehitykseen sekä arvokkaiden, patenttisuojattujen tuotteiden tuotantoon ja vientiin. Eurooppalaiset valmistajat tuottavat esimerkiksi vaikuttavia lääkeaineita, joiden tuotantomäärät ovat pieniä ja tuotantoprosessit monimutkaisia. EU-maista eniten vaikuttavien lääkeaineiden tuotantolaitoksia sijaitsee Ranskassa, Saksassa, Espanjassa ja Italiassa. Lisäksi kolmannes maailmanlaajuisesta lääkekaupasta on EU:n sisäistä kauppaa. Yhdysvallat on puolestaan maailman suurin lääkkeiden maahantuoja. Vaikuttavien lääkeaineiden, kemiallisten raaka-aineiden ja patentoimattomien lääkkeiden tuonti EU:n ulkopuolelta, kuten Kiinasta ja Intiasta, on viimeisinä vuosikymmeninä kuitenkin lisääntynyt. Esimerkiksi patentoimattomien vaikuttavien lääkeaineiden kohdalla tuonti EU:hun on suurempaa kuin vienti. EU:n kauppavaje on suuri hormonien, prostaglandiinien, tromboksaanien ja leukotrieenien, antibioottien ja (pro-) vitamiinien osalta. Tuonti EU:n ulkopuolelta keskittyy nimenomaan raaka-aineisiin, jotka jatkaloistetaan EU:ssa lopullisiksi lääkemuodoiksi, kun taas valmiiden lääkkeiden tuonti EU:hun on suhteellisen vähäistä.³⁷ Muutamat tämän tutkimuksen haastateltavista ovat huolissaan siitä, että myös lääkkeisiin liittyvää tutkimusta ja erilaisiin tuotantoprosesseihin liittyvää osaamista ulkoistetaan enenevässä määrin esimerkiksi Aasiaan. Mitä uudempi vaikuttava lääkeaine, sitä todennäköisemmin sen valmistus painottuu Euroopan sijaan Aasiaan.³⁸

Vaikuttavien lääkeaineiden tuonti EU:n ulkopuolelta tapahtuu keskittyneesti vain muutamista maista tuonnin määrää tarkasteltaessa: 80 prosenttia niistä tulee viidestä maasta eli Kiinasta, Yhdysvalloista,

36 European Commission 2021a.

37 European Commission 2021a; EEA 2024a; Grumiller ym. 2021; Raza ym. 2021.

38 Ks. myös MundiCare 2020.

Iso-Britanniasta, Indonesiasta ja Intiasta. Tuonnin arvon perusteella tarkastellen tärkeimmät EU:n ulkopuoliset vaikuttavien lääkeaineiden toimittajat ovat Sveitsi, Yhdysvallat, Singapore ja Kiina, joista tuodaan yhteensä 80 prosenttia EU:n ulkopuolelta tuotujen lääkeaineiden kokonaisarvosta. Euroopan komission tarkastelussa lääkkeet jaetaan kahteen eri ryhmään: arvokkaisiin, innovatiivisiin patenttisuojattuihin alkuperäisvalmisteisiin ja geneerisiin eli rinnakkaislääkkeisiin. Rinnakkaislääkkeitä myydään halvemmalla kuin alkuperäisvalmisteita, ja niiden rooli korostuu, kun tarkastellaan kaupan volyymia. Alkuperäisvalmisteet sen sijaan korostuvat, kun tarkastellaan kauppavirtojen arvoa. Myös yritysten tason tarkastelu vahvistaa käsitystä Kiinan ja Intian suuresta roolista vaikuttavien lääkeaineiden tuotantoketjussa; lääkeyritykset ovat ulkoistaneet tuotantoketjun osia Kiinaan ja Intiaan sijoittuneille sopimusvalmistajille. Silti Euroopan komission selvitys varoittaa, että saatavilla olevien tietolähteiden perusteella ei ole täysin selvää, missä määrin EU tukeutuu EU:n ulkopuolisten maiden ja yritysten kapasiteettiin vaikuttavien lääkeaineiden valmistusprosessin eri vaiheissa.³⁹

Konsulttiyhtiö IQVIA on arvioinut, että vaikuttavien lääkeaineiden ja lähtöaineiden (*precursors*) volyymista 74 prosenttia on **suoraan tai epäsuoraan riippuvaista tuonnista Aasiasta**, ja tästä 70 prosenttia on riippuvaista Kiinasta. Kymmenen tärkeimmän molekyylin kohdalla volyymista 78 prosenttia tuodaan Eurooppaan Aasiasta.⁴⁰ Grumiller ym. raportin mukaan maailmanlaajuisesti 41 prosenttia vaikuttavien lääkeaineiden ja valmiiden lääkkeiden volyymista tuotetaan Kiinassa.⁴¹

Kiina ja Intia ovat maailman tärkeimmät **geneeristen eli rinnakkaislääkkeiden** lääkeaineiden tuottajat. Kaksi kolmasosaa rinnakkaislääketeollisuuden vaikuttavista lääkeaineista valmistetaan Kiinassa ja Intiassa. Nämä maat tuottavat yhdessä esimerkiksi 90 prosenttia maailman penisilliinistä, 60 prosenttia parasetamolista ja puolet ibuprofeenista. Euroopan komission selvityksen mukaan Intia oli vuoteen 2010 saakka maailman suurin vaikuttavien lääkeaineiden valmistaja, mutta sen jälkeen osa vaikuttavien lääkeaineiden ja välituotteiden tuotannosta on siirtynyt Kiinaan. Intia tuottaa 20 prosenttia rinnakkaislääkkeistä maailmassa, mutta se on riippuvainen Kiinasta tulevasta tuonnista, joka kattaa 70 prosenttia vaikuttavista lääkeaineista.⁴² Fimean selvitys kuvaa, että Kiina

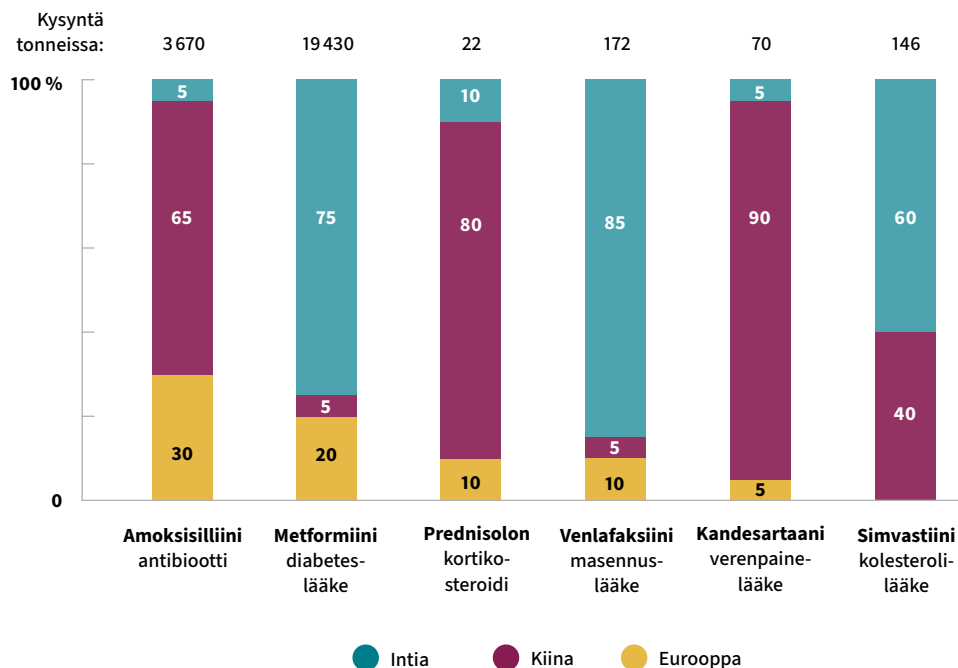
39 European Commission 2021a.

40 IQVIA 2020.

41 Grumiller ym. 2021.

42 European Commission 2021a.

Eurooppaan tulevien vaikuttavien lääkeaineiden tuotantoalueiden osuus



ja Intia ovat merkittävässä markkina-asemassa etenkin mikrobi-
lääkkeiden, kipulääkkeiden, keskushermostoon vaikuttavien
lääkkeiden, hengityselinsairauksien lääkkeiden, syöpälääkkeiden ja
sydän- ja verisuonisairauksien lääkkeiden vaikuttavien lääkeaineiden
tuotannossa.⁴³

Euroopan parlamentin selvitys vuodelta 2020 toteaa, että 40 prosenttia EU:ssa myydyistä lääkinnällisistä lopputuotteista on peräisin kolmansista maista. 60–80 prosenttia kemiallisista vaikuttavista aineista valmistetaan EU:n ulkopuolella, kun taas vielä 30 vuotta sitten osuus oli 20 prosenttia.⁴⁴ Tarkasteltaessa vaikuttavien ainesosien alkuperää Euroopan markkinoilla ilmenee, että esimerkiksi simvastatiinista (kolesterolilääke) 60 prosenttia tulee Intiasta ja 40 prosenttia Kiinasta, kandesartaanista (verenpainelääke) 90 prosenttia tulee Kiinasta, venlafaksiinista (masennuslääke) 85 prosenttia tulee

Kuva 1. Eurooppaan tulevien vaikuttavien lääkeaineiden tuotantoalueiden osuus (arvio). Lähde: MundiCare 2020.

⁴³ Lehtinen ym. 2022.

⁴⁴ European Parliament 2020.

Intiasta, prednisolonista (kortikosteroidi) 80 prosenttia tulee Kiinasta, metformiinista (diabeteslääke) 75 prosenttia tulee Intiasta sekä amoksisilliinista (antibiootti) 65 prosenttia tulee Kiinasta ja 5 prosenttia Intiasta.⁴⁵ Useat keskeiset prosessit ja teknologiat (esim. fermentointi, fluoraus, klooraus, nitrointi) vaikuttavien lääkeaineiden tuotannosta on joko osittain tai kokonaan ulkoistettu Euroopasta Aasiaan.⁴⁶ Eurooppa on vaarassa menettää tietotaitoa sydän- ja verisuonisairauksien lääkkeiden, systeemisesti vaikuttavien infektiolääkkeiden, syöpälääkkeiden ja immuunivasteen muuntajien sekä loisten ja hyönteisten häätöön tarkoitettujen valmisteiden vaikuttavien lääkeaineiden valmistukseen liittyen.⁴⁷

Sen lisäksi, että vaikuttavien lääkeaineiden tuotanto on keskittynyt Intiaan ja Kiinaan, tuotanto on myös **alueellisesti keskittynyt näiden maiden sisällä**. Lääketuotannon keskittymistä erottuvat erityisesti Telanganan ja Maharashtran osavaltiot Intiassa sekä Zhejiangin, Jiangsun ja Shandongin maakunnat Kiinassa (ks. myös osio *Myrskytuhot ja logistiset häiriöt*). Tämän lisäksi on vain muutamia Euroopan farmakopean sertifiointimenettelyn (*Certification of Suitability to the Monographs of the European Pharmacopoeia*, CEP⁴⁸) mukaisia valmistajia, jotka tuottavat yli puolet vaikuttavista aineista, mikä lisää tuotannon häiriöiden riskiä.⁴⁹ Esimerkiksi bentsyylipenisilliinibentsatiinin (antibioottilääke mm. kupan hoitoon) vaikuttavan ainesosan toimittajia on maailmanlaajuisesti neljä, mikä on johtanut lääkepulaan erityisesti köyhemmissä maissa.⁵⁰ Huomionarvoista on myös se, että vaikka esimerkiksi parasetamolia valmistavia yrityksiä on myös Kiinan ulkopuolella, niin lähes kaikki niistä ovat riippuvaisia muutamien kiinalaisten yritysten valmistamista välituotteista (para-aminofenoli).⁵¹

Kemianteollisuuden edustajien mukaan EU:n tiukempi ympäristösääntely heikentää eurooppalaisten yritysten asemaa suhteessa niiden kilpailijoihin vähemmän säännellyistä maista. Lisäksi jäsenvaltioiden julkisissa tarjouskilpailuissa suositaan alhaisinta hintaa eikä huomioida täysimääräisesti muita kriteereitä. Ympäristösääntely ja hintapaineet mainitaan juurisyiksi lisääntyneelle ulkoistamiselle,

45 MundiCare 2020; myös Grumiller ym. 2021; Raza ym. 2021.

46 IQVIA 2020.

47 MundiCare 2020.

48 Euroopan farmakopea on Euroopan neuvoston julkaisema normikokoelma laatuvaatimuksista lääkeaineille, apuaineille ja lääkevalmisteille. Ks. Salo & Ritvanen 2025.

49 Grumiller ym. 2021; MundiCare 2020; Raza ym. 2021.

50 Cogan ym. 2018.

51 Grumiller ym. 2021; Raza ym. 2021.

jota alalla nähdään.⁵² Tuotantoketjut ovat kuitenkin jatkuvassa muu-
toksessa, sillä lisääntyvä ympäristöä ja työoloja koskeva sääntely sekä
palkkojen nousu ajavat Kiinaan sijoittunutta lääketeollisuutta ulkois-
tamaan toimintojaan esimerkiksi Vietnamiin, Malesiaan, Mongoliaan
ja Indonesiaan.⁵³ Esimerkiksi Kiinassa vuosina 2015–2017 toteutettu
ilmanlaadun parantamiseen tähtäävä *Blue Sky* -ohjelma johti monien
tuotantolaitosten sulkemiseen, mikä näkyi tuotantoketjujen häiriöinä.
Silti yritys voi säästää 20–50 prosenttia palkkakustannuksissa Kii-
nassa verrattuna EU:hun.⁵⁴

Lääkkeiden lisäksi saatavuushäiriöitä voi esiintyä erilaisten
lääkinnällisten välineiden, laitteiden ja suojainten suhteen. Lääkinnäl-
lisiin laitteisiin lukeutuu hyvin erilaisia tuotteita aina sidetarpeista ja
neuloista röntgenlaitteisiin ja hengityskoneisiin. Henkilönsuojaimilla
tarkoitetaan esimerkiksi suojakäsineitä, hengityksensuojaimia ja ki-
rurgisia suu-nenäsuojuksia. Lääkinnälliset laitteet luokitellaan niitä
säätävässä EU-lainsäädännössä neljään eri riskiluokkaan käyttö-
tarkoituksen perusteella. Ennen kuin tuotteet pääsevät Euroopan
markkinoille, niiden toimivuutta ja turvallisuutta arvioidaan.⁵⁵

Lääkinnällisten tuotteiden laajaan joukkoon mahtuu keskenään
hyvin erilaisia arvoketjuja, joiden ominaisuudet esimerkiksi kustan-
nusten, laadun, sääntelyn ja tekijänoikeuksien suhteen vaihtelevat.
Esimerkiksi joihinkin tuotteisiin voi sisältyä tietoteknisiä elementtejä,
kuten ohjelmistokehitystä, tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi teollista
tuotantoa, kuten tekstiilituotantoa. Erityisesti teknologisesti kehit-
tyneille lääkinnällisille laitteille tärkeäksi ulottuvuudeksi nousevat
myös myynnin jälkeiset palvelut, kuten koulutus ja laitteiden huolto,
jonka toteuttavat yleensä ulkopuoliset huoltoryhmät varsinaisten
käyttäjien sijaan.⁵⁶

Lääkinnällisten laitteiden arvoketjut ovat yleensä tuottajave-
toisia eli tuottajat ovat vaikutusvaltaisia toimijoita, jotka organisoivat
maailmanlaajuisia tuotantoverkostoja ja varmistavat tuotteidensa
noudattavan laatu- ja turvallisuusstandardeja. Sen sijaan henkilönsuo-
jainten arvoketjussa ostajien valta on suurempi vähäisen teknologisen
tason ja intensiivisen hintakilpailun vuoksi eli suojainten arvoketju
on markkinavetoisempi. Suojaimiin kohdistuu vähemmän tiukkaa
sääntelyä kuin (muihin) lääkinnällisiin laitteisiin, mutta sääntelyllä

52 IQVIA 2020.

53 Grumiller ym. 2021; Raza ym. 2021.

54 IEA 2021; IQVIA 2020.

55 Ekholm 2023; 2024.

56 Grumiller ym. 2021; Raza ym. 2021.

on kuitenkin merkitystä arvoketjun muotoutumiseen. Moneen muuhun alaan verrattuna lääkinnällisten laitteiden valmistusta ei ole ulkoistettu alhaisemman kustannustason maihin yhtä voimakkaasti laatuvaatimusten vuoksi, mutta tuotannon ulkoistaminen, just-in-time-tuotantoketjut ja riippuvuus yhdestä toimittajasta kuitenkin lisääntyvät koko ajan.⁵⁷

Euroopan parlamentin selvityksen mukaan liikevaihdon perusteella kymmenen suurinta lääkinnällisten laitteiden yritystä sijaitsevat Yhdysvalloissa ja Euroopassa. Yhdessä ne vastaavat puolesta kaikista lääkinnällisten laitteiden viennistä – joskin niidenkin tuotanto on hyvin tuontiriippuvaista, eli raaka-aineita ja komponentteja tuodaan esimerkiksi Kiinasta, Malesiasta, Meksikosta, Singaporesta, Costa Ricasta ja Etelä-Koreasta. Esimerkiksi hengityskoneet voivat koostua jopa yli 700 komponentista, joita kaikkia ei valmisteta EU:ssa, vaikka itse laite valmistettaisiinkin paikallisesti.⁵⁸ Sen sijaan melkein kaikki maailman kertakäyttöiset tutkimuskäsineet tuotetaan Malesiassa. Suu-nenäsuojuksien tuotanto on hajautuneempaa, mutta Kiina johtaa niiden markkinoita.⁵⁹

Teollisuusstrategiassaan Kiina pyrkii kasvattamaan rooliaan lääkinnällisten tuotteiden markkinoilla. Kiinan lääkinnällisten laitteiden markkinoiden osuus maailmanmarkkinoista on noin 20 prosenttia, ja ala on kasvanut nopeasti (20 prosenttia vuodesta 2015) viime vuosina.⁶⁰ Paikallisia sairaaloita on ohjeistettu suosimaan lääkinnällisten laitteiden hankinnoissaan kiinalaisia valmistajia. Kiinan lääkinnällisten laitteiden vienti on muuttunut noin viimeisen kymmenen vuoden aikana niin, että siinä korostuvat korkeamman teknologisen tason tuotteet. Koronapandemian aiheuttama pula hengityskoneista mahdollisti kiinalaisten yritysten pääsyn Euroopan markkinoille. Ennen koronapandemiaa 60 prosenttia EU:n kaikista suojavaatteista ja hengityssuojaimista tuotiin Kiinasta.⁶¹

1.2.3 Saatavuushäiriöt

Lääkkeiden saatavuustilanteesta Suomessa saadaan kuva toisaalta myyntiluvan haltijan tekemien saatavuushäiriöilmoitusten avulla että Fimean myöntämien velvoitevarastoinnin alituslupien, erityislupien ja poikkeuslupien avulla. Saatavuushäiriöt ovat merkittävästi

⁵⁷ Grumiller ym. 2021; Raza ym. 2021.

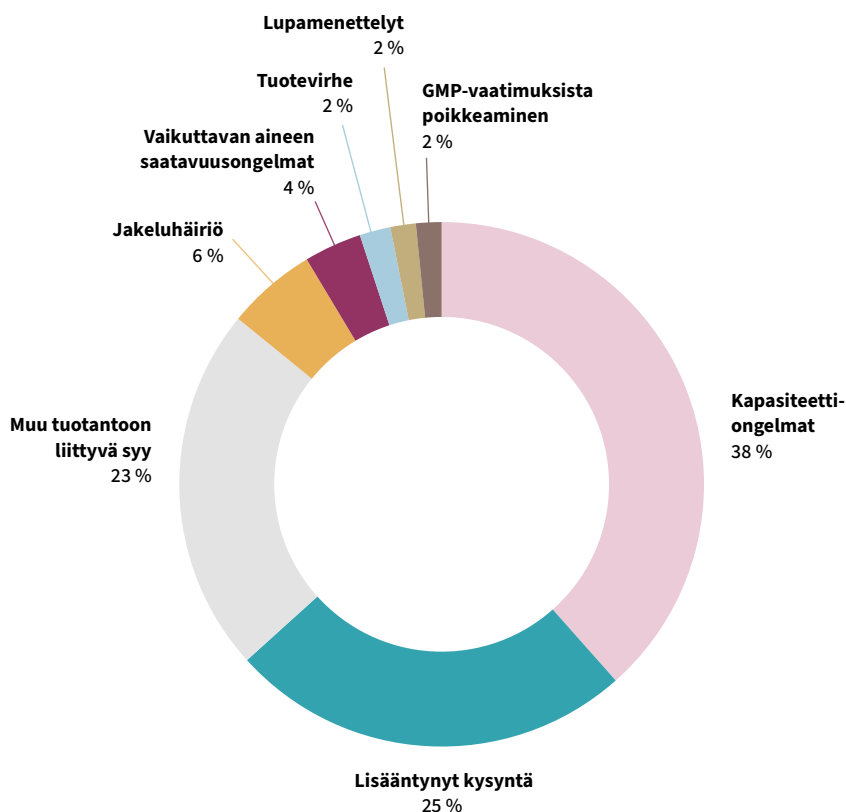
⁵⁸ Grumiller ym. 2021.

⁵⁹ Raza ym. 2021.

⁶⁰ Li 2022.

⁶¹ Raza ym. 2021; myös Grumiller ym. 2021.

Saatavuushäiriöt



lisääntyneet viimeisten kymmenen vuoden aikana Suomessa. Ilmoituksia tehtiin 2 093 kappaletta vuonna 2020 ja 1 710 kappaletta vuonna 2021. Vuonna 2021 eläinlääkkeiden saatavuushäiriöistä ilmoitettiin 183 kertaa (11 prosenttia kaikista ilmoituksista). Saatavuushäiriötä koskevista lääkkeistä 70 prosentille oli saatavilla vaihtoehtoinen valmiste, ja 22 prosentissa tapauksissa vaihtoehtoinen valmiste oli saatavilla uuden lääkärikäynnin myötä. 8 prosentille valmisteista ei ollut saatavilla korvaajaa.⁶² Eräs tutkimuksen haastateltavista muistutti, että saatavuushäiriöiden lukumäärä ei kuitenkaan itsessään kerro siitä, miten usein potilaan hoito on keskeytynyt ja kuinka pitkäksi aikaa, sillä usealle tuotteelle on olemassa korvaava valmiste.

Vuonna 2024 **saatavuushäiriöiden syiksi** ilmoitettiin muun muassa tuotannon kapasiteettiongelmat (noin 38 prosenttia), lisää-

Kuva 2. Fimealle ilmoitettujen lääkkeiden saatavuushäiriöiden syyt vuonna 2024. Prosenttiosuudet eivät pyöristyksen vuoksi summaudu 100 prosenttiin. Lähde: Lehtonen ym. 2025.

⁶² Lehtinen ym. 2022.

markkinoilla. Sen sijaan EU-maissa infektiolääkkeiden saatavuushäiriöiden riski oli selvästi kohonnut, ja niistä raportoitiin kolmanneksi eniten saatavuushäiriöitä. Lääkkeiden saatavuushäiriöt ovat kokonaisuudessaan suhteellisen samanlaisia Suomessa ja muualla EU:ssa, mutta saatavuushäiriöiden hallinnassa Suomi erottuu edukseen velvoitevarastoinnin vuoksi. Esimerkiksi juuri infektiolääkkeistä 44 prosenttia on velvoitevarastoinnin piirissä. Velvoitevarastoinnin merkitys huomattiin etenkin koronapandemian aikana vuonna 2020, kun muutkin maat alkoivat varautua sairaanhoidossa käytettävien lääkkeiden saatavuushäiriöihin. Toisin kuin muualla Euroopassa, Suomessa ei tällöin ilmennyt merkittäviä sairaanhoidon puutteita esimerkiksi hermostoon vaikuttavissa lääkkeissä tai infektiosairauksien lääkkeissä, jotka kuuluvat suurimmaksi osaksi velvoitevarastoinnin piiriin.⁶⁹

Kansallisten häiriöraportointien mukaan puutteiden perimmäisiä syitä ovat **laatu- ja valmistusongelmat** noin puolessa tapauksista. Laatuongelmilla voidaan tarkoittaa valmistusprosessissa ilmeneviä ennakoimattomia häiriöitä, jotka johtavat laatuvirheisiin. Valmistukseen liittyvät ongelmat viittaavat *Good Manufacturing Practice* -vaatimusten (GMP)⁷⁰ rikkomiseen tai kapasiteettiongelmiin. **Kaupalliset syyt**, kuten markkinoilta vetäytyminen riittämättömän myyntitulon vuoksi ja **kysynnän odottamaton kasvu** ovat muita yleisiä syitä saatavuushäiriöihin. Hyvin pieni osa häiriöistä oli ”ennakoimattoman suurtapahtuman tai luonnonkatastrofin” aiheuttamia tarkasteltaessa niitä 16 EU-maata, joista tietoa oli saatavilla.⁷¹ Sään ääri-ilmiöt tai vesipula voisivat kuitenkin periaatteessa tulla raportoiduiksi myös tuotantohäiriönä. Fimea mainitsee, että luonnonkatastrofit trooppisissa maissa ovat johtaneet tuotannon viivästyksiin.⁷² Lääketuotannon ulkoistamisen ja rinnakkaisjakelun vaikutuksia saatavuushäiriöihin DG SANTE ym. eivät sen hetkisillä tiedoilla pystyneet arvioimaan. Lääkkeiden saatavuushäiriöt eivät useinkaan johdu siitä, onko lääkettä ylipäätään saatavilla, vaan siitä, missä sitä on saatavilla; EU-maiden kesken lääkepulaa koetaan joissain maissa päivittäin ja toisissa vain harvoin.⁷³

69 Lehtinen ym. 2022.

70 Lääkkeiden hyvät tuotantotavat (GMP) kuvaavat vähimmäisvaatimuksia, jotka lääkkeiden valmistajien on täytettävä tuotantoprosesseissaan. Euroopan lääkevirasto (EMA) koordinoi tarkastuksia, joilla varmistetaan näiden vaatimusten noudattaminen. Kaikkien EU:n markkinoille tarkoitettujen lääkkeiden valmistajien on noudatettava EU:n GMP-vaatimuksia riippumatta siitä, missä päin maailmaa ne sijaitsevat. Ks. EMA 2025a.

71 ks. DG SANTE ym. 2021, 40.

72 Lehtinen ym. 2022.

73 DG SANTE ym. 2021.

Kaupalliset syyt voivat liittyä siihen, että lääketoimittajat tekevät päätöksiä kannattavuusnäkökulmasta ja valitsevat markkinat mak-suhaluokituksen ja -kyvyn perusteella ja voivat vastaavasti vetäytyä kannattamattomilta markkinoilta.⁷⁴ Lääkeyhtiöt valitsevat siis ensisijaisesti kaupallisin perustein ne alueet, joilla ne ylläpitävät lääkkeiden saatavuutta.⁷⁵ Lisäksi julkisissa lääkehankinnoissa priorisoidaan alhaisia kustannuksia tuotantoketjujen resilienssin kustannuksella. Rinnakkaislääkkeiden vaikuttavien ainesosien valmistus on voitu ulkoistaa Euroopan ulkopuolelle halvempien kustannusten vuoksi, mikä monimutkaistaa tuotantoketjuja ja vaikeuttaa häiriöiden ennakointia.⁷⁶ IQVIA:n kyselyn mukaan suurin osa eurooppalaisista kemianteollisuuden yrityksistä olivat kokeneet vakavia, tuotannon jatkuvuuteen vaikuttavia saatavuushäiriöitä Intiasta tai Kiinasta tuotavien tuotteiden kohdalla viimeisen vuoden aikana.⁷⁷

Lääkeyhtiöt eivät välttämättä pysty panostamaan halvempien rinnakkaislääkkeiden laadukkaaseen tuotantoketjuun. Yhtiöt voivat kustannuksia alentaakseen keskittää lääkkeiden valmistusta, mikä nostaa saatavuushäiriöiden riskiä. Kova hintakilpailu voi kaventaa saatavilla olevaa lääkevalikoimaa jopa niin, että joistain edullisista ja vanhempiin lääkeryhmiin kuuluvista valmisteista on vain yksi tuote markkinoilla, jolloin korvaavaa tuotetta ei ole saatavilla häiriötilanteissa. Suomen saatavuushäiriöilmoituksissa kaupalliset syyt, kuten lääkkeen poistaminen markkinoilta, eivät näy, sillä niistä ilmoitetaan Fimealle erikseen. Kuitenkin osa kapasiteettiongelmista ilmoitetuista häiriöistä voi johtua ennen kaikkea kaupallisista syistä: lääkeyhtiö ei esimerkiksi halua investoida tuotantokapasiteetin kasvattamiseen niin, että tuotanto vastaisi lisääntynyttä kysyntää.⁷⁸

DG SANTE ym. selvittivät **tarkempia juurisyyitä lääkepuhalalle kahdesta maasta**, Portugalista ja Irlannista, joissa raportointi oli tarkempaa. Laatu- ja tuotantohäiriöiden tarkempina eriteltyinä syinä saattoivat olla valmistajan tai valmistuslaitoksen vaihtuminen, erän hylkäys, vaikuttavan lääkeaineen puute, tuotannon viivästyminen tai vaikuttavan lääkeaineen viivästynyt saanti. Lisääntyneen kysynnän taustalla oli usein kysynnän kasvu toisessa valtiossa. Jakeluongelmien taustalla oli toimituksen viivästyminen. Kaupalliset syyt puolestaan johtuivat lääkkeen valmistuksen lopettamisesta, alhaisesta

⁷⁴ DG SANTE ym. 2021.

⁷⁵ Lehtinen ym. 2022.

⁷⁶ DG SANTE ym. 2021.

⁷⁷ IQVIA 2020.

⁷⁸ Lehtinen ym. 2022; 2025.

kaupallisesta potentiaalista tai kysynnästä tai epäonnistuneesta myynnin ennakoinnista.⁷⁹

Vaikka useimmiten puuttuva valmiste pystytään korvaamaan vastaavalla lääkevalmisteella, **saatavuushäiriöt aiheuttavat yhä useammin ketjureaktioita**. Tällöin ongelmat laajenevat saman lääkeryhmän muihin valmisteisiin. Esimerkiksi loppuvuonna 2024 lääkeyritykset Suomessa ilmoittivat joidenkin makrolidiantibioottien (atsitromysiini ja roksitromysiini) sekä doksisykliinin saatavuushäiriöistä kasvaneen kysynnän vuoksi. Vastaavia ongelmia oli esimerkiksi oksikodonissa (vahva kipulääke), rosuvastatiinissa (kolesterolilääke) ja semaglutidin ja muiden GLP-1-agonistien kohdalla (tyypin 2 diabeteksen hoitoon).⁸⁰

45 prosenttia raportoiduista puutteista koskee **tablettimuotoisia** lääkkeitä ja noin 23 prosenttia **injektiona tai infuusiona** annettavia lääkkeitä. Lääkeaineiden **tuotantotekniikoista** esimerkiksi fermentointi, fluorinointi ja klorinointi on ainakin osittain ulkoistettu Euroopan ulkopuolelle.⁸¹ Kun lääkkeiden valmistajilta kysyttiin mahdollisesta yhteydestä lääkepulan ja lääkkeiden tuotantotekniikoiden välillä, jotkut niistä raportoivat, että injektionesteisiin tarkoitettut lyofilisoidut (kylmäkuivatut) tuotteet olisivat suhteellisen alttiita tuotanto-häiriöille. Lisäksi pienissä erissä tai pienissä pakkauskokoluokissa tuotettuihin tuotteisiin liittyy riski lääkepulasta. Rokotevalmistajien haastatteluissa nostettiin esiin vastaavasti, että koska maat vaativat tuotteita erilaisissa muodoissa (esim. erilaiset annostukset, neulan koot, rokotteiden yhdistelmät, erilaiset pakkausmerkinnät), niiden tuotantoon liittyy tehottomuutta. Puutetta yhdellä markkina-alueella ei myöskään voi silloin korvata toiselle alueelle suunnatuilla tuotteilla.⁸² Suomessa injektio- ja infusiovalmisteiden saatavuushäiriöitä torjutaan velvoitevarastoinnin alituslupien avulla.⁸³

Kansallisten ilmoitusten mukaan **lääkkeen saatavuushäiriön kesto** oli keskimäärin 137 päivää. 66 prosenttia häiriöistä ratkaistiin ensimmäisen kolmen kuukauden aikana. Erikseen ennakoimattoman suurtaapahtuman (kuten koronapandemian) tai luonnonkatastrofin aiheuttamat häiriöt saatiin selvitettyä tyypillisesti 66 päivässä, kun taas tuotantoon tai laatuun liittyvät ongelmat kestivät pidempään (3,5 kuukautta). Kaupallisiin syihin liittyvät häiriöt kestivät tyypillisesti 6 kuukautta. Rinnakkaislääkkeiden häiriöt kestivät keskimäärin

79 DG SANTE ym. 2021.

80 Lehtinen ym. 2025.

81 IQVIA 2020.

82 DG SANTE ym. 2021.

83 Lehtinen ym. 2022.

20 päivää pidempään kuin alkuperäisten lääkevalmisteiden. Lääkepulan pituus voi liittyä häiriön aiheuttajaan; valmistukseen ja laatuun liittyvät häiriöt voivat kestää pidempään kuin esimerkiksi toimitukseen liittyvät syyt, kuten toimituskiintiöihin liittyvät häiriöt. Erot rinnakkaislääkkeiden ja alkuperäislääkkeiden häiriöiden pituudessa voi DG SANTE ym. arvion mukaan liittyä siihen, että alkuperäislääkkeisiin lukeutuvat patenttisuojatut lääkkeet, joiden toimituksia koskevat teollisuuden asettamat toimituskiintiöt useammin kuin rinnakkaislääkkeitä. Kiintiöistä johtuvat puutteet korjaantuvat yleensä nopeasti.⁸⁴

Kuten todettu, ymmärrys lääkkeiden saatavuushäiriöistä on hyvin rajallista, sillä häiriöistä raportointi on epäsystemaattista ja vaihtelee maasta toiseen. Puuterekisterit antavat rajallisen käsityksen siitä, miten kriittisiä tuotepuutteet ovat ja miten ne vaikuttavat potilaiden hoidon laatuun ja jatkuvuuteen. Lisäksi häiriöiden raportointi keskittyy yksittäisten syiden identifointiin, vaikka häiriöiden taustalla saattaa olla **systemisiä tekijöitä**: häiriön syyksi saatetaan raportoida ongelma tuotantolaitoksessa, vaikka tähän häiriöön on saattanut johtaa tuotantolaitosten yhdistäminen, jonka seurauksena laitoksia on hyvin vähän. Vaihtoehtoisesti häiriön taustalla voi olla markkinoihin liittyviä syitä, kuten yhden voittajan hankintakäytännöt. DG SANTE ym. haastatteleminen sidosryhmien mukaan tiukka hinnoittelupolitiikka ja alan toimijoiden konsolidoituminen ovat systemaattisia saatavuushäiriöihin vaikuttavia tekijöitä.⁸⁵ Yritysten mukaan hintataso ja tuotantokapasiteetin puute ovat suurimpia esteitä EU:ssa toimimiselle.⁸⁶

Euroopan komission selvityksessä strategisista riippuvuudesta arvellaan, että lääkkeiden tuotantoketjuihin kohdistuu muita tuotantoketjuja alhaisempi riski häiriöille. Lääkkeiden tuotantoketjut ovat selvityksen mukaan vähemmän alttiita ilmastoon liittyville häiriöille, kuten lämpöaalloille tai tulville sekä pandemioille, koska tuotantoketjujen ”pääomaintensiteetti on suhteellisen korkea”, jolloin mahdollisista häiriöistä on paremmin varaa selvitä. Lääkkeiden tuotantoketjut ovat kuitenkin alttiita kaupankäyntiin liittyville kiistoille ja kyberhyökkäyksille.⁸⁷ Kuitenkin tämän tutkimuksen haastateltavat korostavat sitä, että erityisesti rinnakkaislääkkeiden tuotanto, jota on ulkoistettu etenkin Kiinaan ja Intiaan, ei alan kovan kilpailun vuoksi välttämättä pysty tekemään investointeja sopeutuakseen ilmastonmuutokseen tai ympäristösääntelyyn. Lisäksi Euroopan

84 DG SANTE ym. 2021.

85 DG SANTE ym. 2021.

86 IQVIA 2020.

87 European Commission 2021a.

ympäristökeskus arvioi lääkkeiden tuotantoketjujen sään ääri-ilmiöistä johtuvien häiriöiden riskin *huomattavaksi* lyhyellä aikavälillä (vuoteen 2040 saakka) ja pidemmällä aikavälillä jopa *kriittiseksi* tai *katastrofaaliseksi*.⁸⁸

IQVIA:n toteuttaman 52 kemianteollisuuden yritykselle suunnatun kyselyn mukaan 67 prosenttia vastasi kokeneensa häiriöitä välituotteiden tai raaka-aineiden saannissa viimeisen vuoden aikana. Häiriöiden vaikutukset arvioitiin korkeiksi 60 prosentissa tapauksissa ja 9 prosentissa erittäin korkeiksi. Häiriön kokeneista 94 prosenttia mainitsi Kiinan, 59 prosenttia Intian ja 21 prosenttia Euroopan raaka-aineen ostoalueeksi. Häiriöiden määrästä kysyttäessä Kiinan ja Intian rooli korostui vastauksissa. Yritysten mukaan häiriöt Aasiaan sijoittuvissa tuotantoketjuissa johtuivat odottamattomista tuotantolaitosten sulkemisista, uudesta ympäristösääntelystä, laatuhäiriöistä ja lähtöaineiden puutteesta.⁸⁹

Koronapandemia osoitti, että vakavan tartuntataudin leviämisen voi sekä vaikuttaa lääkkeiden tuotantolaitosten toimintaan että lääkkeiden toimituksiin ja kysyntään. Esimerkiksi monella alalla tuotantolaitosten toimintaa ajettiin alas tartuntojen vähentämiseksi. Koronapotilaille annettiin esimerkiksi midatsolaamia, joka on lyhytvaikutteinen rauhoittava lääke. Lisääntyneen kysynnän vuoksi lääkkeestä tuli pulaa monessa EU-maassa. Lisäksi esimerkiksi Intia rajoitti 26 vaikuttavan lääkeaineen ja valmiin tuotteen maastavientiä (antibioottien, kuten tinidatsolin ja erytromysiinin, ehkäisytablettien prodesteronin ja monien vitamiinien) osittain siitä syystä, että niiden raaka-aineiden saannissa Kiinasta oli pandemian vuoksi haasteita. Antibiooteissa, kuten amoksisilliinissa, esiintyi pulaa pandemian aikana, ja Iso-Britannia kielsi amoksisilliinin eri muotojen maastaviennin maaliskuussa 2020.⁹⁰ Fimean selvityksen mukaan koronapandemia saattoi myötävaikuttaa siihen, että eläinlääkkeistä tehtiin jonkin verran enemmän poikkeuslupahakemuksia Suomessa. Maailmanlaajuinen lääketuotanto keskittyi valmistamaan COVID-19-taudin hoitoon ja ennaltaehkäisyyn tarkoitettuja lääkevalmisteita, kuten rokotteita. Usein samat tuotantolaitokset valmistavat sekä ihmis- että eläinlääkkeet ja niiden raaka-aineet.⁹¹

Tätä tutkimusta varten haastatellut asiantuntijat kuvailivat ylempänä kuvattujen selvitysten ja tutkimuskirjallisuuden mu-

88 EEA 2024a.

89 IQVIA 2020.

90 DG SANTE ym. 2021; Ellis-Petersen 2020; Grumiller ym. 2021.

91 Lehtinen ym. 2022.

kaisesti, että vaikuttavien lääkeaineiden tuotannon keskittyminen harvoille toimijoille ja pitkien toimitusketjujen sijoittuminen ympäri maailmaa lisäävät saatavuushäiriöiden riskiä. Osa haastateltavista korosti globaalien lääkemarkkinoiden ja lääkinnällisten laitteiden markkinoiden **suurta keskinäisriippuvuutta**. Esimerkiksi koronarokotteiden tuotanto voi tilaa muulta tuotannolta, tai jos yhden valmistajan tehtaalla havaitaan puutteita GMP-tarkastuksen yhteydessä eikä se saa vapauttaa tuotteitaan myyntiin, voi vastaavalle, toisen valmistajan valmistamalle tuotteelle syntyä kysyntäpiikki. Vastaavasti tuotteista aiheutui pulaa myös hurrikaanin keskeytettyä infuusionesteiden tuotannon Yhdysvalloissa, kun muiden maiden valmisteet suuntautuivat paikkaamaan Yhdysvaltojen kysyntää.

Koronapandemian aiheuttaman kysynnän vaikutukset **lääkinnällisiin laitteisiin ja suojavarusteisiin** olivat voimakkaammat kuin sen vaikutus lääkkeisiin. Koronapandemian aiheuttama lisääntynyt kysyntä henkilösuojaimissa aiheutti katkoksia niiden saannissa. Pandemian alkuvaiheessa koronarajoitukset vaikuttivat tutkimuskäsineiden pakkausmateriaalin toimituksiin, mutta itse käsineiden tuotanto ei keskeytynyt. Hengityssuojainten tapauksessa sulapuhalletun (*meltblown*) kuitukankaan maailmanlaajuinen tarjonta osoittautui suurimmaksi pullonkaulaksi. Tiettyjä mikrosiruja valmistavan tuotantolaitoksen väliaikainen sulkua Kiinassa aiheutti sirupulaa, joka vaikutti pandemian aikana hengityskoneiden tuotantoon kaikkialla maailmassa. Toinen komponentti, jolla on vain muutamia toimittajia, ovat mekaanisessa ventilaatiossa tarvittavat happikalvot. Mikäli tuotteiden valmistukseen vaadittavat raaka-aineet tai komponentit ovat pitkälle erikoistuneita tai niiden tuottajien tulee olla sertifioituja (esim. kansainvälisesti tunnustetun ISO 13485 eli lääkinnällisten laitteiden suunnittelun ja valmistuksen standardin mukaisia), on erittäin vaikea vaihtaa toimittajaa nopealla aikataululla. Sairaalat, jotka täydensivät varastojaan just-in-time-periaatteella ja hankkivat tuotteita harvemmilta toimittajilta kustannusten vähentämiseksi, selvisivät heikommin koronapandemiasta.⁹²

Koronapandemian aikana EU:ssa nähtiin monia toimia, joilla pyrittiin varmistamaan kriittisten tuotteiden saanti. Näiden joukkoon kuului vientikieltoja, muutoksia julkisten hankintojen strategioihin (yhteishankintoja), diplomaattisia neuvotteluita tuotteiden vientikieltojen estämiseksi, tukitoimia uusien tuotantolinjojen perustamiseksi (esimerkiksi kasvosuojusten sulapuhalluslinjat Saksassa),

92 Grumiller ym. 2021; Raza ym. 2021.

säätelyn mukauttamista muun muassa sertifiointiprosessien nopeuttamiseksi ja varastojen perustamista. Raza ym. arvioivat, että erilaisten suojainten tuotanto tuskin siirtyy Aasiasta EU:hun ilman julkista tukea, vaikka tuotantoa koronapandemian aikana jonkin verran aloitettiin.⁹³ EU-maat eivät kuitenkaan koordinoineet toimintaa keskenään aloittaessaan tai lisätessään hengityssuojainten tuotantoa, mikä luultavasti tarkoittaa, että tuotanto ei kysynnän tason laskettua ollut taloudellisesti kannattavaa.⁹⁴ Tämän tutkimuksen eräs haastateltava korosti, että kansallista lainsäädäntöä tulisi muokata joustavammaksi niin, että kansanterveydellisessä kriisissä voitaisiin nopeutetulla prosessilla sallia suomalaisten valmistajien tuotannon laajentaminen uusiin lääkinnällisiin laitteisiin.

Tämän tutkimuksen haastatteluaineiston perusteella **varautumistyö lääkinnällisten laitteiden kohdalla on Suomessa hiljattain aloitettu** ja kansallista tilannekuvaa on pyritty luomaan. Kokonaiskuvan luominen saatavuuskatkoksista ja tuontiriippuvuuksista on kuitenkin ollut haastavaa. Varsinaiset toiminnan kohteena olevat lääkinnälliset laitteet eivät ole julkista tietoa. Sekä epävarman geopolittisen tilanteen että ilmastonmuutoksen arveltiin aiheuttavan riskejä lääkinnällisten laitteiden tuotantoketjuille. Esimerkiksi Yhdysvalloista toimitaan Eurooppaan monia laitteita, joiden tuotantoon ja toimituksiin sään ääri-ilmiöt kuten hurrikaanit ovat jo aiheuttaneet katkoksia. Esimerkiksi infuusionesteistä ja lääkinnällisiksi laitteiksi luokitelluista huuhtelunesteissä oli pulaa, kun niiden valmistajan tehdas Yhdysvalloissa kärsi hirmumyrskystä, mikä johti siihen, että muiden valmistajien tuotteet suuntautuivat Yhdysvaltoihin niitä korvaamaan.

Kehittyneimpien lääkinnällisten laitteiden kohdalla varautumisessa tulee huomioida myös myynnin jälkeiset palvelut kuten huolto. Laitetoimittajia voi olla esimerkiksi vain yksi, ja jos sille tulee taloudellisia vaikeuksia, voi sen kautta tilattu, erityisesti tiettyä koulutusta tai robotiikkaa vaativa huoltotyö keskeytyä. Läkinnällisten laitteiden, kuten magneettikuvauslaitteiden, valmistamiseen voidaan tarvita myös kriittisiksi tai strategisiksi määritettyjä raaka-aineita, joihin liittyviä riskejä on käsitelty omassa tapaustutkimuksessaan. Magneettikuvauslaitteessa on muun muassa niobia, galliumia, germaniumia, harvinaisia maametalleja, kuparia ja alumiinia.⁹⁵

93 Raza ym. 2021.

94 Grumiller ym. 2021.

95 Horn ym. 2025.

1.3 Ketjuuntuvat vaikutukset tuotantoon

Tällä hetkellä **EU:n lääkkeiden saatavuusongelmiin liittyvissä aloitteissa ei huomioida lainkaan ilmastonmuutoksen mahdollista vaikutusta**. Myös tutkimuskirjallisuutta aiheesta on niukasti. EEA varoittaaakin, että ilman lääkkeiden tuotantoketjujen monipuolistamista ilmastonmuutos voi aiheuttaa entistä enemmän saatavuushäiriöitä. Sekä Kiina että Intia, joissa molemmissa valmistetaan lääkkeitä ja niiden ainesosia, ovat alttiita ilmastonmuutoksen suorille vaikutuksille, kuten kuivuudelle, tulville ja myrskyille.⁹⁶ Tämän tutkimuksen haastateltavat näkivät lääketuotannon ulkoistamisen ilmastonmuutokselle alttiisiin maihin riskinä, ja useat arvelivat tuotantohäiriöiden määrän kasvavan tulevaisuudessa. Mitä monimutkaisempi ja pidempi tuotantoketju on, sitä suurempi on todennäköisyys altistua sään ääri-ilmiöille myös logististen häiriöiden kautta, etenkin niillä lääkkeillä tai raaka-aineilla, jotka vaativat tiettyjä kuljetusolosuhteita. Lisäksi muutamat haastateltavat korostivat ilmastonmuutoksen suoria vaikutuksia terveydelle esimerkiksi infektioiden lisääntymisen kautta, mikä vaikuttaa myös lääkkeiden kysyntään. Sydän- ja verisuonisairaudet lisääntyvät keskilämpötilan kohotessa. Apteekin edustaja kuvasi huoltaan yhteisvaikutuksista: saatavuushäiriöt voivat lisääntyä, kun samaan aikaan ilmastonmuutos etenee ja sään ääri-ilmiöt lisääntyvät, sääntely-ympäristö nostaa tuotantokustannuksia ja lääkkeiden hinta halutaan pitää mahdollisimman alhaisena.

1.3.1 Myrskytuhot ja logistiset häiriöt

Myrskytuhot ovat iskeneet lääkkeiden tuotantolaitoksiin. Esimerkiksi heinäkuussa 2023 tornado vahingoitti Pfizerin massiivista tuotantolaitosta Rocky Mountissa, Pohjois-Carolinassa. Kyseinen laitos valmistaa muun muassa 8 prosenttia kaikista Yhdysvaltojen sairaaloissa käytettävistä steriileistä injektionesteistä. Pfizer pystyi aloittamaan tuotantoa uudelleen myöhemmin syyskuussa, mutta samalla se kuitenkin varoitti, että joidenkin lääkkeiden täysimittainen tarjonta voi palautua vasta seuraavan vuoden puolivälissä.⁹⁷

Häiriötilanteita voi pahentaa se, jos ne tapahtuvat yhtäaikaaisesti lääkkeiden tai lääkinnällisten laitteiden **kysyntäpiikin** aiheuttaman tartuntatautiepidemian kanssa: esimerkiksi vuonna 2017 hurrikaani Maria aiheutti noin puolelle yhdysvaltalaisista sairaaloista

⁹⁶ EEA 2024a.

⁹⁷ Kansteiner 2023; Keenan 2023.

puutetta suolaliuoksesta samalla kun vuosittainen influenssaepidemia oli käynnissä. Hurrikaani iski erityisesti Puerto Ricoon, jossa on 49 lääkkeiden ja lääkinnällisten laitteiden valmistuslaitosta, jotka tuottavat 10 prosenttia kaikista Yhdysvalloissa käytetyistä lääkkeistä sekä neljäsosan Yhdysvaltojen lääkinnällisistä vientituotteista.⁹⁸ Itse lääketehaat kärsivät suhteellisen vähäisiä suoria vahinkoja, mutta **sähköverkkoinfrastruktuurin häiriöt** estivät tuotannon välittömän jatkamisen. **Kuljetus- ja logistiikkainfrastruktuurin vikaantuminen** aiheutti myös haasteita työntekijöiden ja raaka-aineiden siirtämiselle tuotantolaitoksiin ja niistä pois sekä materiaalien kuljettamiselle saaren pääsataman kautta.⁹⁹

Hurrikaani Marian vaikutuksia Puerto Ricon lääketuotantoon läheisemmin tarkastelemalla havaitaan, että paikallinen sään ääri-ilmiö voi aiheuttaa **lähtevän logistiikan viivästyksiä** ja **kokonaistuotantokapasiteetin vähenemistä**. Puerto Ricon tapauksessa **satamaoperaatiot** olivat heikentyneet hurrikaanin vuoksi. Tämän taustalla oli viisi tekijää: 1) Työntekijät eivät päässeet töihin. (Teitä ja siltoja oli poikki. Polttoainetta ei riittänyt liikenteelle kun generaattoreita otettiin laajasti käyttöön. Myrsky aiheutti henkilö- ja omaisuusvahinkoja ja tarvetta evakuoitua muille alueille.) 2) Sataman infrastruktuuri oli vahingoittunut. (Materiaalin käsittelyyn tarkoitetut laitteet ja teleyhteydet satamassa olivat tuhoutuneet.) 3) Sähköverkko saarella oli kaatunut. (Hurrikaani iski maanpäällisiin sähköverkkoihin. Taloudellisessa ahdingossa oleva energiayhtiö ei ollut investoinut sähköverkon kestävyyteen.) 4) Kuorma-autokapasiteetti tehtaan ja sataman välillä oli vähentynyt. (Teitä ja siltoja oli poikki, ja polttoainetta oli rajoitustusti saatavilla. Yhteydenpito tehtaan ja kuorma-autoilijoiden välillä oli katkennut.) 5) Saapuvan rahdin määrä kasvoi. (Tavanomaisen tuonnin rinnalle virtasi humanitaarista apua ja tarvikkeita, mikä rajoitti resursseja käsitellä muuta materiaalia.)¹⁰⁰

Kokonaistuotantokapasiteetin väheneminen johtui Puerto Ricon tapauksessa siitä, että sertifioituja tuotantolaitoksia oli vain yksi, eikä tuotantoa voitu siirtää ilman uutta sertifiointiprosessia. Tämä yksi laitos tuotti noin puolet Yhdysvaltojen sairaaloissa käytettävästä suolaliuoksesta ja kaikki pienikokoiset suolaliuospusstit. Hurrikaanin jälkeisten menetettyjen tuotantopäivien taustalla saattoivat sen olla vaurioituneet tehdasrakennukset, sähköverkon toimimattomuus,

98 EEA 2024a.

99 Lawrence ym. 2020.

100 Lawrence ym. 2020.

polttoaineen puute tehtaan generaattoreita varten, puhtaan veden puute, televiestinnän toimimattomuus, sosiaaliset levottomuudet ja niitä seurannut ulkonaliikkumiskielto, työntekijöiden loukkaantumiset ja evakuoituminen pois alueelta sekä myöhästymiset saapuvassa logistiikassa.¹⁰¹ Tämän tutkimuksen haastateltavat kuvailivat, että vastaavat hurrikaanien aiheuttamat tuotantohäiriöt Yhdysvalloissa ovat aiheuttaneet huolta Suomessa asti: globaaleilla markkinoilla on selkeästi havaittavissa, että yhdysvaltalaiset toimijat pyrkivät äkillisesti korvaamaan keskeytynyttä tuotantoaan muiden valmistajien tuotteilla.

Kaikki maat joutuvat kohtaamaan toimitusketjuissaan vuoteen 2040 mennessä pahenevia sään ääri-ilmiöiden aiheuttamia häiriöitä, kun ilmastonmuutos muuttaa lämpötilaa ja sademalleja.¹⁰² Erityisen vahingollisia voivat olla logististen solmukohtien häiriöt. Useimmat suuret laivaliikenteen solmukohdat ovat joutuneet sulkemaan tai keskeyttämään kauttakulun kahden viime vuosikymmenen aikana.¹⁰³ Lisäksi lähes kolmannes maailman satamista sijaitsee alueilla, joilla esiintyy trooppisia myrskyjä, joita ilmastonmuutos pahentaa entisestään.¹⁰⁴ Ilmastonmuutoksen aiheuttamat vahingot satamainfrastruktuurille sekä myrskyjen aiheuttamat satamien sulkemiset voivat yhdessä aiheuttaa globaalille merenkulkualalle jopa 25 miljardin Yhdysvaltain dollarin vuosittaiset kustannukset vuoteen 2100 mennessä.¹⁰⁵

Myös Euroopan fyysistä infrastruktuuria koskee korjausvelka, mikä altistaa sitä ilmastonmuutoksen vaikutuksille. Ikääntynyt liikenneinfrastruktuuri kestää huonommin ilmastoon liittyviä suoria vaikutuksia.¹⁰⁶ Lääkkeiden kuljetuksen suhteen on huomioitava erityisesti se, että jotkin tuotteet, kuten rokotteet, insuliini ja veri-valmisteet, ovat herkkiä kuumuudelle, eikä niiden kylmäketju saisi katketa.¹⁰⁷ Lääkkeitä tulisi myös säilyttää asianmukaisesti, sillä esimerkiksi mikrobilääkkeiden altistuminen äärimmäisille lämpötiloille, kosteudelle tai valolle voi heikentää niiden tehoa.¹⁰⁸

Euroopan ilmastoriskejä tarkasteleva raportti varoittaa erikseen **päällekkäisistä häiriöistä**: kriittistä infrastruktuuria ei useinkaan ole suunniteltu kestämään joko yhtäaikaista tai peräkkäisiä ääri-ilmiöitä. Kun kuivuus yhdistyy äärimmäiseen kuumuuteen, tai maastopalot

101 Lawrence ym. 2020.

102 Quante ym. 2024.

103 Bailey & Wellesley 2017.

104 EEA 2019.

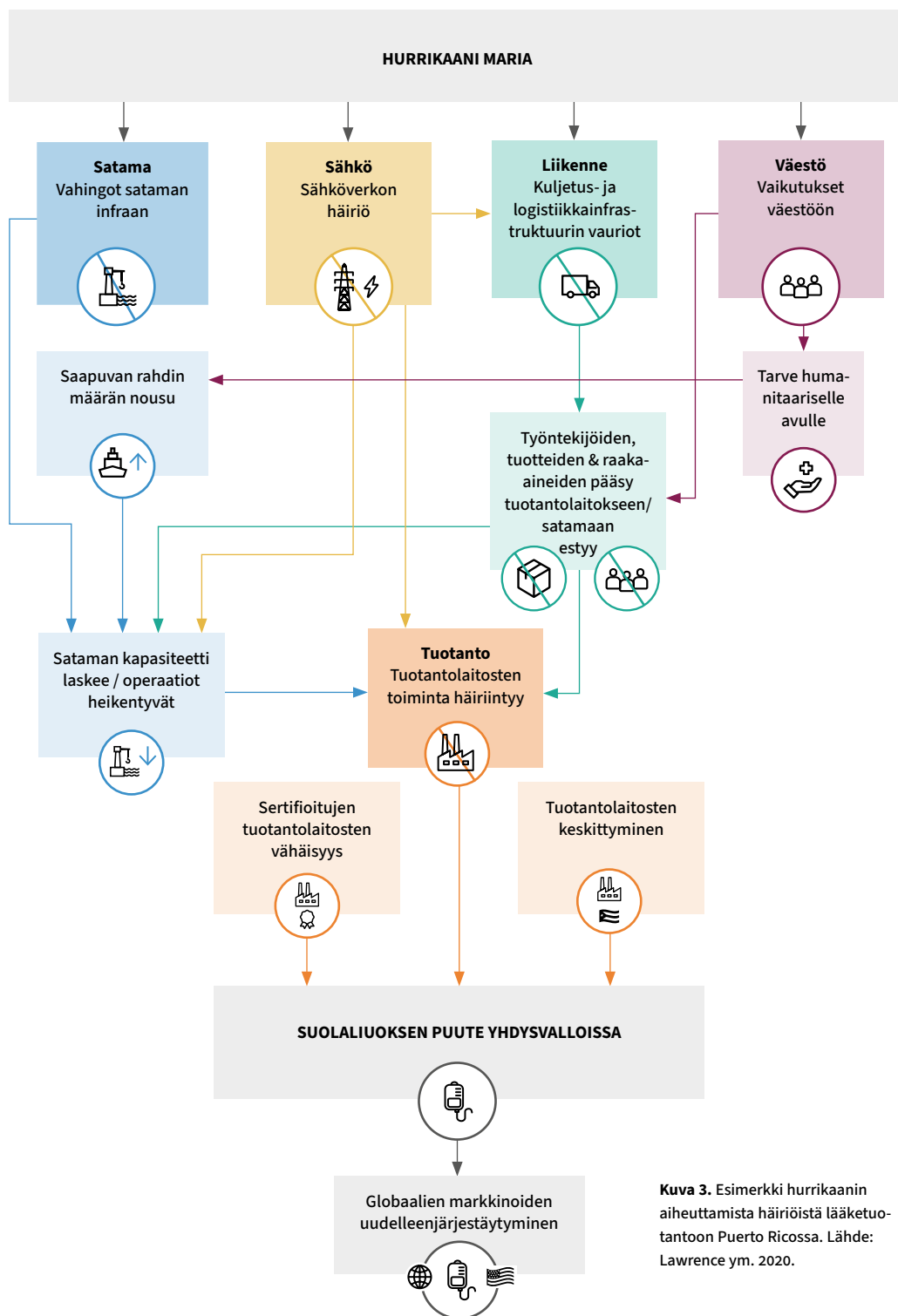
105 UNEP 2024.

106 EEA 2024a.

107 Kaplan ym. 2025.

108 Fagunwa ym. 2024.

Myrskytuhot ja logistiset häiriöt



Kuva 3. Esimerkki hurrikaanin aiheuttamista häiriöistä lääketuotantoon Puerto Ricossa. Lähde: Lawrence ym. 2020.

voimakkaaseen tuuleen, kohoaa häiriöiden todennäköisyys. Liikenne-
infrastruktuurin korjaaminen vaatii myös aikaa. Esimerkiksi kesällä
2021 Keski-Euroopan tulvien vuoksi tie- ja raideliikenteeseen kohdis-
tui katkoksia; moottoritietä oli Saksassa suljettuna kaksi kuukautta, ja
raideliikenteen korjaamiseen odotetaan menevän yli neljä vuotta. Kun
korjaus ei ole vielä valmis, voi samaan infrastruktuuriin kohdistua uu-
sia sään ääri-ilmiöitä, jotka heikentävät sitä entisestään.¹⁰⁹

Lääketuotannon keskittyminen maantieteellisesti pienelle
alueelle lisää häiriöiden riskiä. Lääketeollisuuden tuotantolaitoksia on
ympäri maailman, mutta yli **50 tuotantolaitoksen keskittymiä** on yh-
teensä 27 vesistöalueella. Yhdessä nämä muodostavat yli 60 prosenttia
kaikista niistä laitoksista, jotka löytyivät EMA:n ja Yhdysvaltojen *Food
and Drug Administrationin* tietokannoista. Esimerkiksi Tonavan ve-
sistöalueella on 335 laitosta, Krishnan alueella 302 laitosta, Pon alueella
245 laitosta, Elben alueella 207 laitosta ja Reinin alueella 200 laitosta.
Vesistöalueihin kohdistuu esimerkiksi riskejä tulvimisesta ja veden
laadun häiriöistä.¹¹⁰ **Intiassa tällaisten lääketuotannon teollisuuspuistojen
keskittyminä** erottuvat erityisesti Telanganan, Maharashtran ja jossain
määrin Gujaratin osavaltiot. **Kiinassa** puolestaan Zhejiangin, Jiangsun
ja Shandongin maakunnat tunnetaan lääketeollisuuden keskittyminä.¹¹¹

Intia, jonne on ulkoistettu merkittävästi vaikuttavien lääke-
aineiden valmistusta, kärsii voimakkaista ilmastomuutoksen
vaikutuksista. Trooppisten syklonien voimakkuuden ennustetaan
lisääntyvän samalla kun kuivat jaksot yleistyvät ja laajenevat ja ää-
rimmäiset sateiset jaksot kesämonsuunikaudella voimistuvat. Tulvien
määrä kasvaa. Sekä kuivuus että tulvat haittaavat pinta- ja pohjaveden
muodostumista ja uhkaavat maan vesiturvallisuutta. Maan energiai-
nfraktuurin ja -toimitusten luotettavuus kärsii, kun hellejaksot
lisäävät energiankulutusta samalla kun vettä on yhä rajoitetummin
saatavilla voimalaitoksiin. Rannikoilla sijaitsevat, merivettä jäähdy-
tykseen käyttävät voimalaitokset ovat alttiita merenpinnan nousun,
syklonien ja myrskytulvien aiheuttamille vahingoille. Intian kaltaiset
trooppiset maat kärsivät ilmastomuutoksen suurimmat negatiiviset
vaikutukset myös talouskasvuun.¹¹²

**Lääketehtaat eri puolilla Intiaa ovat joutuneet keskeyttämään toi-
mintansa** rankkasateiden tai tulvien vuoksi.¹¹³ Esimerkiksi Himachal

109 EEA 2024a.

110 Dobson 2021.

111 MundiCare 2020.

112 Krishnan ym. 2020.

113 Keenan 2023; Sharma 2023; The Times of India 2023.

Pradeshin osavaltiossa, jossa sijaitsee kasvava lääketieteellinen keskittymä Baddi, kärsittiin elokuussa 2023 voimakkaista monsuninensateista, mikä johti lopulta yli 700 tien sulkemiseen ja vaikeutti kuljetuksia alueella.¹¹⁴ Samana vuonna Sikkimin osavaltiossa kärsittiin useita kuolonuhreja vaatineista rankkasateista ja tulvista, jotka keskeyttivät myös tuotantolaitosten toiminnan.¹¹⁵ Samana vuonna myös Chennaissa, Tamil Nadun osavaltiossa sijaitseva lääketehdas joutui keskeyttämään toimintansa sykloniin liittyvän tulvimisen vuoksi.¹¹⁶ Tulevaisuudessa vedestä voi myös olla pulaa: Intiassa käytetään eniten pohjavettä maailmassa, jopa enemmän kuin Yhdysvalloissa ja Kiinassa yhteensä, lähinnä maatalouden käyttöön.¹¹⁷ Kestämätön vedenkäyttö johtaa tuoreen tutkimuksen mukaan enenevässä määrin pulaan vedestä, etenkin ilmastonmuutoksen edetessä.¹¹⁸

Kiina, jossa on myös merkittävästi lääketieteellisuutta, kärsii Intian lailla ilmastonmuutoksen suorista vaikutuksista. Kaikista Aasian ja Tyynenmeren valtioista juuri Kiina kohtasi eniten luonnonkatastrofeja vuosina 2000–2019, yli 500 kertaa. Kuitenkin Intiaan verrattuna Kiina on vähemmän haavoittuva valtio ilmastonmuutoksen näkökulmasta. Ilmastonmuutos voimistaa ja lisää Kiinassa monenlaisia äärimmäisiä sääilmiöitä, kuten taifuuneja, tulvia, lumimyrskyjä, kuivuutta ja maanvyöryjä. Lämpeneminen voimistaa rankkasateita erityisesti itäisessä Kiinassa, jossa sijaitsevat myös lääketuotannon keskittymiksi tunnistetut Zhejiangin, Jiangsun ja Shandongin maakunnat.¹¹⁹ Ilmastonmuutos vaikuttaa kuivuuden intensiteettiin ja esiintymistiheyteen muun muassa Kiinan itärannikolle yltävillä Haihe-joen vesistöalueella, Huaihe-joen vesistöalueella ja Jangtse-joen vesistöalueella.¹²⁰ Rannikoilla taifuunit, myrskytulvat ja merenpinnan nousun ovat säännöllisesti vaikuttaneet satamatoimintoihin.¹²¹

Tulvakatastrofit vaikuttavat merkittävästi suureen osaan Kiinaa, jossa tulvivat alueet kattavat 66 prosenttia maasta ja vaikuttavat puoleen väestöstä. Nopea urbanisoituminen on tehnyt etenkin kiinalaisista kaupungeista haavoittuvia tulville, koska niissä ei useinkaan ole maanalaisia viemäröintijärjestelmiä, ja sadevettä imevät kosteikot

114 The Telegraph 2023.

115 Keenan 2023.

116 Sharma 2023.

117 Vadlamani 2025.

118 Bhattarai ym. 2023; Rosa & Sangiorgio 2025.

119 Chan ym. 2024; Islam & Wang 2024; Kan 2011; University of Notre Dame 2025; Tan & Song 2024; Wang ym. 2023.

120 Dai ym. 2024.

121 Yang ym. 2018.

on tuhottu asutuksen tieltä. Esimerkiksi Pekingissä on ollut kuolemaan johtaneita tulvia ainakin kahdeksan kertaa sitten vuoden 2004. Vuonna 2023 Pekingissä koettiin 140 vuoden havaintohistorian ennätysellisin rankkasade, joka aiheutti mittavia vahinkoja myös kriittiselle infrastruktuurille.¹²² Syyskuussa 2025 kaksi miljoonaa ihmistä piti evakuoida taifuuni Ragasan tieltä Guangdongin maakunnassa,¹²³ joka on yksi maailman merkittävimmistä teollisuuskeskittymistä. Alustavien tutkimusten mukaan vaikuttaa siltä, että ilmastomuutoksen lämmittämät meret tekevät myrskyistä voimakkaampia ja kosteampia kuin aikaisemmin.¹²⁴

Tulvien lisäksi vaikeuksia aiheuttavat muun muassa **kuivuusjaksot**. Vuonna 2022 Kiinan Sichuanin maakunnassa jouduttiin pahan helleaallon ja vakavan kuivuuden vuoksi säännöstelemään alueen teollisuuden vesivoimasta riippuvaista sähkönkulutusta. Sichuanin maakunnassa valmistetaan aurinkopaneelien ja litiumioniakkujen lisäksi ainakin 48 Yhdysvaltojen markkinoille hyväksyttyä lääkevalmistetta ja neljää vaikuttavaa lääkeainetta, joiden tuotantoon keskeytykset oletettavasti myös vaikuttivat.¹²⁵ Vastaavia kuivuuden aiheuttamia tuotantohäiriöitä koettiin myös vuotta aikaisemmin eteläisessä Kiinassa esimerkiksi Guangdongin maakunnassa.¹²⁶

1.3.2 Vesiriskit

WWF:n ja AstraZenecan julkaiseman selvityksen mukaan **vesi on kriittisen tärkeää lääkevalmistajien toiminnalle**. Yli 80 prosenttia kolmestakymmenestä johtavasta lääkeyhtiöstä mainitsee veden olevan heille yksi tärkeimmistä kestävyyyteen liittyvistä teemoista, mutta vain 3 prosenttia oli julkisesti ilmoittanut tekevänsä käyttämistään raaka-aineista minkäänlaista veteen liittyvää arviointia tai riskiarvioita. Vähäistä tietoa tuotantoketjun vedenkäytöstä voidaan pitää yhtiöiden sokeana pisteenä.¹²⁷ Myös useat tämän tutkimuksen haastateltavat korostivat, että vedellä on suuri merkitys lääketeollisuudelle. Eräs haastateltavista arveli, että vesipulaa ei oteta riittävän vakavasti.

WWF:n ja AstraZenecan selvityksen mukaan kunkin yhtiön alttius vesiriskeille riippuu yhtiön fyysisen toimintaympäristön veden tilasta (vesistöalueen riskistä) sekä yhtiön veden käytöstä (opera-

¹²² Gu ym. 2023; Islam & Wang 2024; Jiang ym. 2018.

¹²³ Howard ym. 2025; Langley ym. 2025.

¹²⁴ Ks. Song 2025.

¹²⁵ Raghavendran 2022.

¹²⁶ Al Jazeera 2022; Yang 2022.

¹²⁷ Dobson 2021.

tiivisesta riskistä). Tuotantoketjun riskit keskittyvät lääkeyhtiöiden mukaan erityisesti lääkkeiden valmistus- tai tuotantovaiheeseen sekä vaikuttavan lääkeaineen valmistukseen. Suurin osa lääkkeiden ja lääkeaineiden tuotantoprosessin aikana kuluva vedestä käytetään viilennykseen tai tietyn lämpötilan ylläpitämiseen tuotannon eri vaiheissa. Pienempi osa vedestä käytetään laitteiston puhdistamiseen tai liuottimena valmistusprosessissa. Tämä osa vedestä täytyy puhdistaa lääkeainejäämistä ennen sen päästämistä ulos tuotantolaitoksesta.¹²⁸

Tunnistaakseen maantieteellisesti korkeita vesiriskin alueita lääketeollisuuden näkökulmasta, WWF tarkasteli kaikkiaan 5 272 lääketeollisuuden tuotantolaitosta luomallaan vesiriskityökalulla.¹²⁹ Työkalu arvioi sekä fyysisiä valuma-alueen riskejä että yrityksen operatiivisia vesiriskejä. Vesiriskit luokitellaan kolmeen kategoriaan: fyysisiin, sääntelyyn liittyviin ja maineeseen liittyviin riskeihin. Kunkin näistä riskityypeistä on jaettu yksityiskohtaisempiin riskiluokkiin, joihin puolestaan sovelletaan vertaisarvioituihin lähteisiin perustuvaa 42 indikaattoria, joita tarkistetaan ja päivitetään ajoittain uusimpien tutkimusten mukaisiksi. Nykyisten riskien lisäksi työkalulla voi arvioida tulevia riskejä pessimistisessä ilmastoskenaariossa.¹³⁰

Suurimmat lääketeollisuuden keskittymät sijaitsevat Euroopassa, Intiassa, Yhdysvalloissa ja Kiinassa. Vesiriskityökalun mukaan valtaosa näistä suuremmista keskittymistä ovat alttiita joko keskitason tai korkean tason vesiriskeille. Merkittävimmät näiden vesistöalueen riskeistä liittyvät **veden laatuun sekä tulviin**. Yli 78 prosenttia laitoksista sijaitsee vesistöalueilla, jotka ovat alttiita joko *erittäin suurille* tai *suurille* veden laadun riskeille. Veden laadun riski viittaa siihen, soveltuvatko vesivarat sekä ihmisten että ekosysteemien käyttöön. Veden pilaantuminen voi vaikuttaa liiketoimintaan epäsuorasti aiheuttamalla ekosysteemien epävakautta tai vakavia terveysongelmia sekä suoraan kasvaneina toimintakustannuksina ja tuotannon vähenemisenä. Näillä laitoksilla on lisäksi riski joutua sidosryhmien tai median kritiikin kohteeksi, riippumatta niiden roolista veden laadun huonontamisessa.¹³¹

Esimerkiksi Intian Hyderabadissa tuotetaan lähes viiden nes maan lääketeollisuuden viennistä. Samalla kaupungin laitamilla sijaitseva lääketeollisuuden keskittymä, ”Patancheru-Bollaram-klusteri”, on identifioitu yhdeksi maan saastuneimmaksi alueeksi, jossa

128 Dobson 2021.

129 Ks. WWF 2025.

130 Dobson 2021; WWF 2025.

131 Dobson 2021.

käytännössä käsittelemättömät jätevedet päästetään lääketehtaista suoraan ympäristöön. Ympäristölainsäädäntöä ei siis noudateta, ja noin 80 prosenttia Intian pintavesistä on saastunut käsittelemättömän jäteveden ja teollisuusjätteen vuoksi.¹³² Saastuminen aiheuttaa todennäköisesti riskin myös veden saatavuudelle lääketeollisuuden omaan käyttöön. Myös Kiinassa antibioottijäämiä on löydetty käytännössä kaikkialta ympäristöstä, ja ongelmaa pahentaa antibioottien erittäin laaja käyttö.¹³³ Sekä Intiassa että Kiinassa lääkkeiden tuotantolaitokset aiheuttavat **globaalin terveysuhkan päästämällä antibiootteja sisältävää jätevettä ympäristöön**, mikä edesauttaa lääkkeille vastustuskykyisten taudinaiheuttajien kehittymistä.¹³⁴

Yli 89 prosenttia tuotantolaitoksista sijaitsee lisäksi vesistöalueilla, jotka altistuvat joko *erittäin suurelle, suurelle tai keskisuurelle* tulvariskille. 25 prosenttia laitoksista sijaitsee myös alueilla, joilla on *korkea* tai *hyvin korkea* veden puutteen riski.¹³⁵ Jos maapallon keskilämpötila nousee 3,5 astetta vuosisadan loppuun mennessä, 55 prosentin sijaan 75 prosenttia tuotantolaitoksista tulee altistumaan joko *äärimmäiselle* tai *hyvin suurelle* veden laadun riskille. Tässä ilmastoskenaariossa myös veden hallintaan liittyvät poikkeukset voivat lisääntyä, koska hallitukset voivat epäonnistua useammin lainsäädännön noudattamisen valvonnassa. Joillain alueilla varsinainen pula vedestä lisääntyy, mutta kokonaisuudessaan vesipulan merkitys juuri lääketeollisuudelle ei kasva niin selkeästi kuin muut riskityypit, kuten esimerkiksi veden laatuun liittyvät häiriöt.¹³⁶

Tuoreessa tutkimuksessa havaittiin, että 1,5 asteen lämpenemisen myötä maailmanlaajuinen vesivaje – eli tilanteet, joissa veden kysyntä ylittää tarjonnan – kasvaa lähes 6 prosenttia. 3 celsiusasteen lämpenemisskenaariossa vesikuilu kasvaa lähes 15 prosenttia. Maat, joissa on suurin vesivaje, ovat Intia, Yhdysvallat, Pakistan, Iran ja Kiina. Merkittävät lääkkeiden tuottajamaat Intia ja Kiina ovat myös niitä, joiden vesivaje kasvaa eniten ilmastonmuutoksen myötä, mukaan lukien Kiinan rannikkoalue.¹³⁷ Intiassa (222 miljoonaa ihmistä) ja Kiinassa (159 miljoonaa ihmistä) on myös maailman maista eniten kaupunkiväestöä, joka kärsii vesipulasta.¹³⁸

¹³² Chaturvedi & Kavalakkat 2023; Veleva ym. 2018.

¹³³ Bavumiragira ym. 2024.

¹³⁴ Esim. Chaturvedi & Kavalakkat 2023; Singh ym. 2021; Wang ym. 2021; Wu ym. 2025.

¹³⁵ Dobson 2021; WWF 2024.

¹³⁶ Dobson 2021.

¹³⁷ Rosa 2025; Rosa & Sangiorgio 2025.

¹³⁸ He ym. 2021.

1.3.3 Tuotanto-olosuhteiden muutokset

Joissain lääkkeissä ja lääkinnällisissä laitteissa on ainesosia, joiden tuotantoon ilmastomuutos voi vaikuttaa olosuhteiden kautta. Ilmastomuutos voi myös johtaa lääkekasvien terapeuttisten ominaisuuksien vaihteluun, minkä on arveltu vaikuttavan haitallisesti lääkeinnovaatioihin ja -keksintöihin, joihin kasveja voidaan käyttää.¹³⁹

AstraZeneca on tunnistanut esimerkiksi **palmuöljyn** yhdeksi tärkeäksi raaka-aineeksi toiminnalleen. AstraZeneca käyttää tietyissä valmistamisissaan lääkkeissä magnesiumstearaattia ja steariinihappoa, jotka molemmat ovat palmuöljyn johdannaisia. Vaikka tarvittava volyymi ei olisikaan suuri verrattuna joidenkin muiden sektoreiden palmuöljyn käyttöön, on palmuöljyn merkitys yhtiölle kriittinen lääkkeiden tuotannossa. Magnesiumstearaatin ja steariinihapon toimittaa yhtiölle eräs suuri maailmanlaajuinen kemikaalitoimittaja, jonka valmistamien tuotteiden palmuöljy tulee 98 prosenttisesti Indonesiasta. AstraZeneca selvitti kemikaalitoimittajan kanssa palmuöljyn tarkemat hankinta-alueet Indonesiassa ja tunnisti näiden tuotantolaitosten keskeisiksi fyysisiksi vesiriskeiksi vesistöalueen laajuiset tulvat ja vedenlaaturiskit sekä maineriskit. Arvioinnissa yksilöitiin myös pieni joukko alueita, joilla ilmastomuutos saattaa vaikeuttaa palmuöljyn viljelyä tulevaisuudessa. Tarkempi selvitystyö auttoi yhtiötä suunnittelemaan veteen liittyvää riskienhallintaa toimittajan kanssa.¹⁴⁰

Toinen AstraZenecan kriittiseksi toiminnalleen tunnistama raaka-aine on **palladium**, joka kuuluu platinametalleihin, jotka EU on luokitellut sekä kriittisiksi että strategisiksi raaka-aineiksi (ks. Energiasiirtymän kriittiset raaka-aineet -tapaustutkimus). Palladium on yleinen katalyytti, jota käytetään lääkkeiden valmistuksessa. Palladiumia tarvitaan kemiallisiin reaktioihin, joilla luodaan orgaanisia molekyylejä. Palladiumia tarvitaan vain hyvin pieniä määriä, ja sitä myös tuotetaan maailmanlaajuisesti hyvin vähän (noin 200 tonnia).¹⁴¹ Suurimmat palladiumin tuottajamaat ovat Venäjä ja Etelä-Afrikka.¹⁴² AstraZeneca hankkii palladiumia välittäjältä, joka puolestaan hankkii sitä maailmanmarkkinoilta, eli raaka-aineen jäljitettävyyden on erittäin heikkoa. Maksullista *S&P Global Metal and Mining* -tietokantaa hyödyntäen selvitettiin, että palladiumia tuotetaan ainakin 491 kaivoksessa ja että palladiumista 40 prosenttia tuotettiin Etelä-Afrikassa vuonna 2021. WWF:n vesiriskianalyysin mukaan lähes puolet

¹³⁹ Alum 2024.

¹⁴⁰ Dobson & Argoud 2023.

¹⁴¹ Dobson & Argoud 2023.

¹⁴² U.S. Geological Survey 2025.

palladiumia tuottavista kaivoksista sijaitsee vesistöalueilla, joilla veden laatuun ja ekosysteemipalveluihin kohdistuu keskisuuria tai erittäin suuria riskejä. Lisäksi 95 prosentilla kaivoksista on keskisuuri tai suurempi maineriski.¹⁴³

Monien lääkinnällisiin tarkoituksiin käytettävien kasviperäisten luonnonyhdisteiden, kuten tebaiinin, morfiinin ja kodeiinin, saanti on ensisijaisesti riippuvaista **oopiumiunikon** sadonkorjuusta. Tämä riippuvuus lisää toimitusketjuhäiriöiden riskiä, sillä viljelykasvit ovat alttiita ympäristöolosuhteille. Merkittävä osa globaalin lääketeollisuuden oopiumunikon tuotannosta on keskittynyt Tasmaniaan.¹⁴⁴ Ilmastonmuutoksen lisäämät ääri-ilmiöt ovat jo tuhonneet joitain unikkosatoja Tasmaniassa.¹⁴⁵ Myös esimerkiksi Turkissa ilmastonmuutos on aiheuttanut 12–65 prosentin tuotantotappioita unikon viljelyssä.¹⁴⁶

1.3.4 Ilmastonmuutoksen vaikutus kysyntään

Ilmastonmuutoksen eteneminen voi muuttaa sairauksien esiintymistä ja täten myös lääkkeiden kysyntää.¹⁴⁷ Äärimmäiset lämpötilat ja lämpötilan laaja vuorokausivaihtelu lisäävät monien hermostosairauksien, kuten aivohalvauksen, neurologisten infektioiden ja joidenkin mielenterveyden häiriöiden esiintymistä.¹⁴⁸ Uusien tautiuhkien ilmaantuessa lääkkeiden käyttö näyttää väistämättä lisääntyvän huomattavasti, erityisesti sellaisten lääkkeiden osalta, joita ei nykyisin yleisesti käytetä (esim. loislääkkeet). Lisäksi jo laajasti käytössä olevien kroonisten sairauksien lääkkeiden käyttö lisääntyy, kuten beetasalpaajien, angiotensiinikonvertaasin estäjien (verenpainelääke), statiinien (kolesterolia alentava lääke), salisylaattien (kipulääke), verihiutaleiden estäjien, verisuonia laajentavien lääkkeiden ja anti-koagulanttien (verenohennuslääkkeiden).¹⁴⁹ Ilmaston lämpeneminen ja siihen liittyvät sään ääri-ilmiöt pahentavat tartuntatautitaakkaa ja muuttavat vektorivälitteisten tartuntatautien esiintymisalueita.¹⁵⁰ Ilmastonmuutoksen voi ajatella siis muuttavan lääkkeiden kysyntää pitkäaikaisesti esimerkiksi lämpötilan muuttuessa, mutta myös äkillisinä kysyntäpiikkeinä, joita voi aiheutua esimerkiksi sään ääri-ilmiöistä ja niihin liittyvistä tartuntataudeista.

¹⁴³ Dobson & Argoud 2023.

¹⁴⁴ Sousa ym. 2022.

¹⁴⁵ Esim. Bradsher 2014.

¹⁴⁶ Yazici 2022.

¹⁴⁷ Esim. Abir ym. 2024; Kaplan ym. 2025; Redshaw ym. 2013.

¹⁴⁸ Sisodiya ym. 2024.

¹⁴⁹ Redshaw ym. 2013.

¹⁵⁰ Esim. Daalen ym. 2024; Mora ym. 2022; Mordecai ym. 2020.

Kuumuuden, maastopalojen savun, ilmansaasteiden ja ko-
honneiden otsonipitoisuuksien aiheuttama rasitus voi pahentaa
sydän- ja keuhkosairauksia.¹⁵¹ Ilmastomuutos voimistaa diabeteksen,
sydän- ja verisuonitautien riskitekijän, haitallisia terveysvaikutuk-
sia.¹⁵² Lisääntyvät astmaan liittyvät sairaalahoidot ovat yhteydessä
altistumiselle äärimmäisille helle- ja sadeilmiöille.¹⁵³ Äärimmäinen
kuumuus aiheuttaa lisääntyneitä sairaalahoitoja ja kuolleisuutta kroo-
nista munuaissairautta sairastaville ihmisille.¹⁵⁴ Joidenkin lääkkeiden
terapeuttiset vaikutukset voivat voimistua helleaaltojen aikana ja ai-
heuttaa siten terveysongelmia: tiettyntyyppisen nitroglyseriinin käyttö
voi johtaa verenpaineen laskuun lämpimällä säällä, ja insuliini voi
aiheuttaa diabeetikoille vakavan hypoglykemian eli alhaisen verenso-
kerin.¹⁵⁵ Ilmastomuutoksen eteneminen vaikuttaa negatiivisesti myös
terveydenhuollon toimintaan. Ilmastomuutoksen seuraukset aiheut-
tavat muutokset heikentävät esimerkiksi terveydenhuollon sektorin
työntekijöiden kykyä suoriutua työstään.¹⁵⁶

Maastopalojen ja muiden sään ääri-ilmiöiden kokeminen vai-
kuttaa lisäävän riskiä sairastua myös mielenterveysongelmiin, kuten
vakavaan masennukseen, posttraumaattiseen stressihäiriöön ja yleisty-
neeseen ahdistuneisuushäiriöön. Esimerkiksi Kalifornian maastopaloja
tarkastelevassa tutkimuksessa havaittiin, että maastopalojen esiinty-
minen ihmisen asuinalueen lähetyvillä oli yhteydessä lisääntyneeseen
mielenterveysrasitukseen, mikä näkyi tiettyjen psykotrooppisten lääk-
keiden – masennuslääkkeiden, anksiolyyttisten lääkkeiden ja mielialaa
tasaavien lääkkeiden – käytön lisääntymisenä.¹⁵⁷

Erään Yhdysvaltojen neljää yleistä kroonista sairautta – sydän-
ja verisuonitauteja, astmaa, kroonista munuaistautia ja Alzheimerin
tautia – ja ilmastomuutosta tarkasteleva tutkimus arvioi mallinnuk-
sen avulla, että lääkkeiden kysyntä kasvaisi kaikkien muiden paitsi
sydän- ja verisuonitauteihin käytettävän metoprololin kohdalla il-
maston lämmitessä. Metoprololin kysynnän arvioitiin *vähenevän*,
koska sydän- ja verisuonitautikuolleisuus kasvaa niin voimakkaasti
vakavissa ilmastomuutoskenaarioissa. Tutkimus on hyvä muistu-
tus siitä, että ilmastomuutoksen mahdolliset terveysvaikutukset ja

151 Ks. Abir ym. 2024; myös Rowland ym. 2020.

152 Al-Shihabi ym. 2023.

153 Soneja ym. 2016.

154 Remigio ym. 2019.

155 Šklebar ym. 2022.

156 Esim. Braithwaite ym. 2024; Tesfaye ym. 2025; Yenew ym. 2025.

157 Clayton 2021; Monsour ym. 2022; Wettstein & Vaidyanathan 2024.

vaikutus lääkkeiden kysyntään on monimutkainen kokonaisuus.¹⁵⁸ Olisi huomioitava myös muiden merkittävien muutosten vaikutukset lääkkeiden kysyntään, kuten esimerkiksi saastumisen, biologisen monimuotoisuuden vähenemisen, vesi- ja ruokaturvan heikkene-
misen ja väestörakenteessa tapahtuvien muutosten vaikutukset.¹⁵⁹ Lisäksi eläinlääkkeiden, kuten matolääkkeiden käyttö voi lisääntyä tulevana vuosikymmeninä.¹⁶⁰

1.3.5 Geopoliittiset jännitteet

Lääkkeiden tuotantoon ja saatavuuteen kohdistuu myös geopoliittisia ja taloudellisia intressejä. Muun muassa koronapandemia, talouskriisit ja Venäjän hyökkäyssota Ukrainassa¹⁶¹ ovat eri tavoin osoittaneet tuotantoketjujen olevan herkkiä häiriöille, minkä seurauksena myös lääkkeitä ja niiden valmistuksesta on tullut osa geotaloudellista kilpailua.¹⁶² Yhtäaikaista geopoliittista ja ilmastonmuutokseen liittyvää riskiä pahentavat toistensa seurauksia ja voivat aiheuttaa entistä syvempiä ja pitkäkestoisempia häiriöitä lääkkeiden tuotantoon ja toimituksiin.

Monet valtiot ovat enenevässä määrin huolissaan lääkkeiden saatavuushäiriöistä. EU:n tavoin esimerkiksi Yhdysvalloissa on halua kasvattaa lääkkeiden tuotantoketjujen kestävyyttä. Yhdysvallat pyrkii laajentamaan lääkinnällisten tuotteiden valmistusta muun muassa Meksikon kanssa, mutta Meksikon vesipula ja huonokuntoinen infrastruktuuri vaikeuttaa tuotannon laajentamista.¹⁶³ Vuonna 2020 Yhdysvallat aloitti lääkeaineiden varmuusvarastoinnin kehittämisen turvatakseen kriittisten lääkkeiden tuotantoa ja pyrkii kasvattamaan omavaraisuuttaan lääkkeiden suhteen.¹⁶⁴

Presidentti Trump allekirjoitti toukokuussa 2025 toimeenpanomääräyksen (*"Delivering Most-Favored-Nation Prescription Drug Pricing to American Patients"*), jonka tavoitteena on laskea lääkkeiden hintoja Yhdysvalloissa.¹⁶⁵ Määräykseen sisältyy hintavoittojen asettaminen lääketeollisuudelle ja mahdollisuus suoran kuluttajamyynnin helpottamiseen. Määräyksen toteuttamiseen liittyy kuitenkin kaupallisia ja oikeudellisia epäselvyyksiä ja ongelmakohtia esimerkiksi viranomaisten toimivallasta ja määräyksen tarkemmasta

158 Abir ym. 2024.

159 Redshaw ym. 2013.

160 Cooper ym. 2015.

161 Nott 2022.

162 Esim. European Commission 2023a.

163 Ks. Rudman 2024.

164 White House 2020.

165 Trump 2025.

soveltamisalasta.¹⁶⁶ Määräyksen on spekuloitu vaikuttavan eri tavoin globaaleihin lääkemarkkinoihin: jotkin lääkkeiden valmistajat Intiassa toivovat hyötyvänsä siitä markkinoidensa laajentuessa, kun taas monet analytiikat pelkäävät lääkeyhtiöiden nostavan lääkkeiden hintoja Yhdysvaltojen ulkopuolella, esimerkiksi Euroopassa ja globaalin etelän maissa. Myös lääkeinnovaatioiden odotetaan hidastuvan investointien vähentyessä, mikäli lääkeyhtiöiden tulot supistuvat merkittävästi maailman tuottoisimmalla lääkemarkkina-alueella eli Yhdysvalloissa.¹⁶⁷

Myös Kiinan teollisuuspoliittisiin tavoitteisiin lukeutuu esimerkiksi lääkinnällisten laitteiden tuotannon lisääminen,¹⁶⁸ ja maa pyrkii entisestään vahvistamaan kotimaista lääketuotantoa.¹⁶⁹ Vuonna 2020 Intiassa lanseerattiin *Production Linked Incentive* -strategia, jonka tarkoituksena on auttaa rakentamaan Intian omavaraisuutta muun muassa lääkkeissä ja lääkeaineiden valmistuksessa esimerkiksi investointitukien avulla.¹⁷⁰

Maiden väliset omavaraisuuden kasvattamisen pyrkimykset voivat aiheuttaa ristiriitoja. Intialaiset asiantuntijat syyttävät Kiinaa lääkeaineiden hintojen epävakauttamisesta vastaiskuna Intian pyrkimyksille lisätä omavaraisuuttaan lääkeaineiden tuotannossa.¹⁷¹ Äkillinen ja laaja maiden harjoittama lääkkeiden varmuusvarastointi voi aiheuttaa puutteita lääkkeistä globaaleilla markkinoilla. Esimerkiksi tätä tutkimusta varten haastateltu asiantuntija kuvasi, että Euroopassa Saksan keräämät lääkkeiden varmuusvarastot ovat aiheuttaneet antibioottien saatavuushäiriöitä Itä-Euroopassa.

Kiinaa on syytetty lääkkeiden ja lääkeaineiden suhteen vastaavasta oman teollisuutensa tukemisesta kuin mineraalien kohdalla: hintoja alentamalla Kiina on ajanut esimerkiksi yhdysvaltalaisia ja intialaisia kilpailijoita lopettamaan oman toimintansa kannattamattomana. Koronapandemian alkuvaiheessa Kiina hyödynsi monopoliasemaansa ja asetti 100 prosentin lisähinnan tiettyjen antibioottien raaka-aineiden viennille Intiaan.¹⁷² IQVIA väittää, että Kiinan etulyöntiasema lääkkeiden tuotannossa on seurausta alemmista työ- kustannuksista, mittakaavaeduista, vakiintuneista ja monipuolisista toimitusketjuista, verohuojennuksista vientituotteille, juanin arvon

166 Matcha 2025; Rogers 2025.

167 Ks. Deb 2025; Matcha 2025; Wall & Pennington 2026.

168 Raza ym. 2021.

169 Esim. China Power Team 2021.

170 Wandhe 2024.

171 Chandna 2021.

172 Chandna 2021; Gibson 2021.

madaltamisesta ja alhaisesta ympäristösääntelystä. Intia puolestaan houkuttelee teollisuutta alhaisilla työvoimakustannuksilla, rupian kurssin alenemisella suhteessa dollariin, julkisilla infrastruktuuri-investoinneilla ja alhaisella ympäristösääntelyllä.¹⁷³ Eräs analyysi varoittaa kiinalaisen ylituotannon uhasta lähitulevaisuudessa lääkkeiden ja lääkinnällisten laitteiden markkinoilla.¹⁷⁴

Euroopan parlamentti korostaa, että **kansanterveydestä onkin tullut geostrateginen ase**, joka voi saada maanosan polvilleen, mikä näkyi koronapandemian alussa.¹⁷⁵ EU tavoittelee strategisen autonomiansa vahvistamista lääkkeiden suhteen sekä omaa tuotantokapasiteettiaan kasvattamalla sekä strategisten suhteiden luomisella ystävällismielisiin maihin.¹⁷⁶ Esimerkiksi koronapandemian aikana Intia rajoitti muun muassa parasetamolin, antibioottien (tinidatsoli ja erytromysiini) ja ehkäisy pillereissä käytettävän progesteronin maastavienttiä, ja tilanteen purkaminen vaati EU:n ja Intian välisiä diplomaattisia neuvotteluita.¹⁷⁷ Tuotannon keskittyminen on siis geopolittinen riski.

Lääkkeistä ja niiden raaka-aineista on tullut osa **kauppasotaa**. Yhdysvaltojen presidentti Donald Trump ilmoitti vuoden 2025 huhtikuussa asettavansa tuontitullit kaikille kauppakumppaneilleen¹⁷⁸ ja käynnisti selvityksiä sektorikohtaisista lisätoimista, joihin kuuluu myös lääketeollisuus.¹⁷⁹ Toukokuussa 2025 EU pohtii vastatoimia, joista osa kohdistuisi lääketeollisuuden tuotteisiin.¹⁸⁰ Eurooppalainen lääketeollisuus on myös ottanut kantaa kauppasotaan: huhtikuussa 2025 julkaistiin lääketeollisuuden toimitusjohtajien varoitus Euroopan komission puheenjohtajalle Ursula von der Leyenille siitä, että ellei Eurooppa saa aikaan nopeaa ja radikaalia poliittista muutosta, tulevat lääketutkimus, -kehitys ja -valmistus suuntautumaan yhä todennäköisemmin Yhdysvaltoihin. Heidän mukaansa EU:n tulisi yksinkertaistaa lääkekehitystä koskevia säännöksiä ja varmistaa johdonmukaisuus ympäristö- ja kemikaalilainsäädännössä.¹⁸¹ Toisaalta on kuitenkin myös viitteitä siitä, että Trumpin ja hänen lähipiirinsä politiikka haittaa lääketieteellistä tutkimusta Yhdysvalloissa.¹⁸²

173 IQVIA 2020.

174 Gunter ym. 2025.

175 European Parliament 2020.

176 HERA 2024; myös European Commission 2023a.

177 Ellis-Petersen 2020; Martuscelli 2023.

178 Romsä & Jääskeläinen 2025.

179 CBS News 2025; Liu 2025.

180 Valkama 2025.

181 EFPIA 2025.

182 Esim. Dolgin 2025.

Kiristynyt kansainvälinen tilanne on herättänyt huolta vuonna 1994 sovitun Maailman kauppajärjestön lääkesopimuksen tulevaisuudesta.¹⁸³ Sopimus on sitonut osallistujamaat poistamaan tullit ja muut maksut monilta lääkkeiltä ja niiden keskeisiltä raaka-aineilta. Sopimuksen osapuolina ovat tällä hetkellä Kanada, Euroopan unioni, Japani, Macao (Kiina), Norja, Sveitsi, Iso-Britannia ja Yhdysvallat,¹⁸⁴ mikä jättää sopimuksen ulkopuolelle maailman lääketuotannolle nykyisin erittäin merkittävät maat Intian ja Kiinan.

Tämän tutkimuksen haastateltavat esittivät huolta lääkkeiden tuotantoketjujen mahdollisesta käytöstä **poliittisena aseena**. Esimerkiksi vaikuttavien lääkeaineiden valmistuksen keskittyminen Kiinaan ja Intiaan nähtiin ongelmallisena tästä näkökulmasta. Haastatteluissa nousi esiin, että yksittäisiin lääkkeiden tai niiden pakkausten raaka-aineisiin kohdistuvilla vientirajoituksilla tai -kielloilla voisi olla vaikutusta lääkemarkkinoihin – mahdollisten lääkkeisiin suoraan kohdistuvien toimien lisäksi. Esimerkiksi **alumiinia** tarvitaan lääkkeiden läpipainopakkauksiin, ja sen vientirajoitukset voisivat vaikuttaa jollain aikavälillä lääkealaan. Eräs haastateltava myös pohti, miten Yhdysvaltojen ja Kiinan välinen vakava tulehtuminen vaikuttaisi Euroopan asemaan: kenen puolelle tulisi asettua? Moni korosti poliittisen ilmapiirin olevan poikkeuksellisen epävarma.

Aseelliset konfliktit ja geotaloudelliset toimet, kuten kauppasaarrot, voivat vaikuttaa lääkkeiden saatavuuteen. Tämän lisäksi laivareittien varrelle sijoittuvat konfliktit voivat nostaa laivojen vakuuttamisen hintaa ja lisätä siten logistisia kustannuksia.¹⁸⁵ On arvioitu, että esimerkiksi kiistely Taiwanin suvereniteetista Yhdysvaltojen ja Kiinan välillä voisi häiritä maailmanlaajuista kaupankäyntiä. Jos Kiina valtaisi Taiwanin sotilaallisesti tai asettaisi sen kauppasaartoon, ja jos esimerkiksi EU edelleen asettaisi Kiinalle vastatoimena pakotteita, voisi – muiden hyödykkeiden lisäksi – lääkeaineiden saanti häiriintyä globaalisti. Kiina voisi myös rajoittaa tai estää lääkeaineiden maastavientiä esimerkiksi kiristämistarkoituksessa.¹⁸⁶ Jos mikä tahansa häiriö, oli se sitten geopolitiikkaan tai sään ääri-ilmiöön liittyvä, haittaisi meriliikenteen kulkua Taiwaninsalmen läpi, vaikutukset tuntuisivat laajasti eri aloilla. Vaihtoehtoinen merireitti pidentäisi kuljetukseen tarvittavaa aikaa ja on lisäksi taifuunien esiintymisaluetta

183 O'Carroll 2025.

184 WTO 2026.

185 Saul & Ghobari 2024; Saul 2021.

186 EEA 2024a; Martuscelli 2023.

erityisesti syksyllä.¹⁸⁷ Muutenkin noin 30 prosenttia kaikesta meriteitse käytävästä kaupasta kulkee Etelä-Kiinan meren kautta, jossa etenkin Malakan salmi on yksi maailman tärkeimmistä laivaväylistä, sillä sen kautta kulkee vuosittain lähes 100 000 alusta.¹⁸⁸ Näiden logististen pullonkaulojen häiriöt tuntuisivat laajasti globaalissa kaupankäynnissä.

1.4 Kestävyyssiirtymän vaikutukset tuotantoon

Euroopan unioni on sitoutunut edistämään kestävän ja vihreän farmasian periaatteita osana laajempaa siirtymää kohti ympäristön kannalta vastuullisempaa lääkekehitystä ja -käyttöä. Nämä pyrkimykset voivat vaikuttaa myönteisesti lääkkeiden saatavuuteen etenkin pitkällä aikavälillä. Esimerkiksi vuonna 2020 julkaistu EU:n lääkealan strategia korostaa lääkkeiden koko elinkaaren huomioimista ja pyrkii edistämään sellaista sääntelykehystä, joka tukee ympäristöystävällisten lääkkeiden kehittämistä ja saatavuutta.¹⁸⁹ Lisäksi EU:n strateginen lähestymistapa lääkkeiden ympäristövaikutuksiin tunnistaa lääkejäämien vaikutukset ympäristöön ja ehdottaa konkreettisia toimia, kuten vihreämpien valmistusmenetelmien edistämistä ja tietoisuuden lisäämistä.¹⁹⁰ Uudistettu EU:n lääkelainsäädäntöehdotus puolestaan sisältää elementtejä, joilla pyritään vahvistamaan kestävyyttä ja torjumaan esimerkiksi mikrobilääkeresistenssiä.¹⁹¹ EU on suunnannut myös tutkimusrahoitusta vihreiden ja ympäristöystävällisten lääkkeiden kehittämiseen.¹⁹²

Näiden toimien myötä EU ohjaa lääketeollisuutta omaksumaan ”sustainable-by-design” -lähestymistavan, jossa lääkkeiden ympäristövaikutukset huomioidaan jo varhaisessa kehitysvaiheessa osana kestävää innovaatiota. Tämän lähestymistavan taustalla on **kestävä farmasia** (*sustainable pharmacy*), joka on nopeasti kehittyvä ja monitieteinen tutkimusalue. Kestävän farmasian tavoitteena on minimoida lääkkeiden ympäristö- ja sosiaaliset vaikutukset niiden koko elinkaaren aikana. ”Sustainable-by-design” voi tarkoittaa esimerkiksi biohajoavien tai ympäristöystävällisten vaikuttavien lääkeaineiden

¹⁸⁷ Varley 2022.

¹⁸⁸ Jannuzi 2025.

¹⁸⁹ European Commission 2026a.

¹⁹⁰ European Commission 2019.

¹⁹¹ European Commission 2026b.

¹⁹² Esim. European Commission 2022a.

kehittämistä. Lisäksi panostetaan ympäristöystävällisempien liuottimien, katalyyttien ja energiatehokkaiden menetelmien sekä esimerkiksi biohajoavien tai kierrätettävien pakkausten kehittämiseen.¹⁹³

Kestävyystoimet kuitenkin myös asettavat tuottajille uusia velvoitteita, joilla on vaikutuksia koko tuotantoketjuun. Vuoden 2025 alusta tuli voimaan **yhdyskuntajätevesien puhdistusta koskeva EU-direktiivi**, jolla päivitettiin kolmekymmentä vuotta vanhoja yhdyskuntajätevesien käsittelyä koskevia sääntöjä. Päivityksen yksi tulos on se, että jatkossa jätevesistä tulee poistaa myös mikroöpäpuhtaudet eli pienissä pitoisuuksissa ihmisten terveydelle ja ympäristölle haitalliset aineet. Mikroöpäpuhtauksien poistamisesta yhdyskuntajätevedestä aiheutuu lisäkustannuksia jätevedenpuhdistamoihin asennettavista laitteistoista ja esimerkiksi jätevesien seurannasta. 92 prosenttia EU:n jätevesien myrkyllisistä mikroöpäpuhtauksista on peräisin lääkeaineista ja kosmetiikasta. Direktiivi velvoittaa lääketeollisuutta ja kosmetiikka- ja hygieniateollisuutta osallistumaan mikroöpäpuhtauksien poistosta aiheutuviin lisäkustannuksiin vähintään 80 prosentin osuudella saastuttaja maksaa -periaatteen mukaisesti. Tarkoituksena on hillitä veronmaksajiin ja vesimaksuun kohdistuvia taloudellisia vaikutuksia ja samalla kannustaa ympäristöystävällisempien tuotteiden kehittämiseen. Direktiivi on tarkoitus saattaa osaksi kansallista lainsäädäntöä 31.7.2027 mennessä. Mikroöpäpuhtauksien poistovelvoite tulee asteittain voimaan niin, että poisto kattaisi 20 prosenttia jätevesistä vuonna 2033, 60 prosenttia vuonna 2039 ja 100 prosenttia vuonna 2045.¹⁹⁴

EU:n komission arvion mukaan Suomelle aiheutuvat vuosikustannukset direktiivistä olisivat 13 miljoonaa euroa. Läketeollisuuden edustajat sen sijaan arvioivat kustannusten olevan monikymmenkertaiset – 280–816 miljoonaa euroa Teknologian tutkimuskeskuksen VTT:n tekemän kustannusarvion perusteella. Läketeollisuus ry:n mukaan kasvavat kustannukset uhkaavat vaarantaa lääkkeiden saatavuutta ja heikentää EU:n kilpailukykyä: nykyisen lääkevalikoiman varoitetaan mahdollisesti kaventuvan, sillä sen ylläpitäminen voi olla lisäkustannusten vuoksi yrityksille kannattamatonta etenkin Suomen kaltaisella pienellä markkina-alueella. Läkkeiden hintasääntelyn vuoksi yritykset eivät voi huomioida lisäkustannuksia hinnoittelussaan.¹⁹⁵

193 Esim. Toma & Crişan 2018; Witte & Müller 2025.

194 Directive EU 2024/3019; Euroopan unionin neuvosto 2024; Eurooppa-neuvosto & Euroopan unionin neuvosto 2025a; YM 2025.

195 Kosonen 2025; Läketeollisuus ry 2025.

Useat tätä tutkimusta varten haastatellut asiantuntijat ovat huolissaan jätevesidirektiivin vaikutuksista lääkkeiden huoltovar-muudelle. Erityisesti lääkeyritykset ja edunvalvontajärjestöt pelkäävät, että EU:n markkinoilta ajettaisiin pois etenkin geneerisiin lääkkeisiin keskittyvät toimijat, joiden tuotteisiin lääkkeiden kulutus painottuu. Eräs haastateltu tutkija muistuttaa, että jätevesidirektiivin imple-mentoinnin yhtenäisyys EU-maiden kesken on tärkeää, etteivät maat näyttäyty eri tavoin houkuttelevina yritysten silmissä. Erään yrityk-sen edustaja kertoi, että esimerkiksi Norjassa kansallinen lääkkeiden hankintayksikkö on luvannut kustantaa jätevesidirektiivin kustan-nuksia, mikä tuottaisi Norjalle kilpailuetua muihin maihin nähden.

Yksi lääketeollisuuden kestävyys siirtymälle haastava ulottu-vuus on **petrokemiallisten tuotteiden** laaja käyttö esimerkiksi lääkealan tutkimuksessa, kehityksessä ja valmistuksessa. Nämä tuotteet voivat toimia raaka-aineina, liuottimina, apuaineina tai prosessikemikaalei-na.¹⁹⁶ Myös esimerkiksi useat laboratoriovälineet, kuten pipetit, ovat muovisia. Muutamat haastateltavat kertoivat, että lääkkeissä voidaan käyttää esimerkiksi vapautumista säättäviä polymeerejä, jotka ovat fossiilista alkuperää. Näiden käytön jatkuminen ei ole itsestään sel-vää ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta, etenkin kun myös kemikaalialtistuksesta ollaan enenevissä määrin huolissaan. Eräs haas-tateltava kuvaili, että lääkkeiden apuaineena käytettävä raaka-aine voi olla turvallinen lääkkeen käytön mittakaavassa, mutta ongelmana voi olla kemikaalialtistuksen kokonaiskertymä, mikäli samoja aineita käytetään laajasti esimerkiksi elintarviketeollisuudessa ja kodin kemi-kaaleissa. Tarve vaihtoehtoisten apuaineiden tutkimukselle on suuri. Apuaineet eivät kuitenkaan ole kovin helposti vaihdettavissa, sillä sen ominaisuudet vaativat laajaa tutkimusta ja myyntiluvan uusimista. Myöskään esimerkiksi lääkkeiden pakkauksissa käytetyn muovin korvaaminen ei ole yksinkertaista, sillä korvaavaan materiaaliin siirty-minen vaatii esimerkiksi säilyvyyskokeita.

Per- ja polyfluoratut alkylyyhdisteet (PFAS) ovat suuri, tuhansien synteettisten kemikaalien joukko, joita käytetään myös lääketeolli-suudessa. Tiettyjen PFAS-yhdisteiden käyttöä rajoitetaan globaalisti, ja EU harkitsee parhaillaan sääntelyn laajentamista.¹⁹⁷ Haastatel-tavat arvelivat, että sääntelyllä voi olla laaja-alaisia vaikutuksia lääketeollisuudelle, sillä sääntely vaikuttaa siihen, mitä raaka-ai-neita ja lääkevalmisteita voidaan valmistaa. Korvaavien materiaalien

¹⁹⁶ Esim. Johnson ym. 2025.

¹⁹⁷ Ks. ECHA n.d.

kehittäminen on aikaa ja resursseja vievä prosessi, johon kuuluu muun muassa laajoja tutkimuksia materiaalin ominaisuuksista ja turvallisuudesta ja lopulta myyntilupadokumenttien päivittämistä.

Yritysten näkökulmasta ympäristöystävällisten toimintatapojen omaksuminen ajoissa voi auttaa välttämään tilanteita, joissa muutokseen joudutaan reagoimaan kiireellä tai ulkoapäin ohjattuna. Lisäksi ennakoiva suhtautuminen esimerkiksi mahdollisiin tuleviin rajoituksiin PFAS-yhdisteiden tai fossiilipohjaisten materiaalien käytössä voi tukea alan uskottavuutta, sääntelyvalmiutta ja pitkäjänteistä kilpailukykyä. Sen sijaan, että muutokseen suhtauduttaisiin ensisijaisesti uhkana, se voidaan nähdä mahdollisuutena kehittää kestävämpiä ratkaisuja ja vahvistaa alan vastuullista roolia yhteiskunnassa.

1.5 Lääkkeiden saatavuuden hallinta EU:ssa

EU:lla on **lääkestrategia**, johon sisältyy lääkkeiden toimitusvarmuuden turvaaminen.¹⁹⁸ **EU:n lääkelainsäädäntöä uudistetaan** parhaillaan muun muassa niin, että lääkkeiden saatavuushäiriöitä voitaisiin ehkäistä paremmin.¹⁹⁹ Uudistuksen myötä kansallisten viranomaisten ja EMA:n edellytetään seuraavan lääkkeiden saatavuushäiriöitä samalla kun yritysten raportointivelvoitteita tiukennetaan niin, että niiden pitää ilmoittaa lääkkeiden saatavuushäiriöistä ja takaisinvedoista kahden kuukauden sijaan kuusi kuukautta etukäteen ja laatia varautumissuunnitelma lääkepulan ehkäisemiseksi. Tarkoituksena on myös mahdollistaa oikeudellisesti sitovia velvoitteita tiettyjen kriittisten lääkkeiden toimitusvarmuuden takaamiseksi esimerkiksi vaatimalla tietyiltä yrityksiltä lääkkeiden varmuusvarastoja. Ympäristöriskien arviointi otetaan osaksi myyntilupaa, ja sitä laajennetaan ennen vuotta 2005 myyntiluvan saaneisiin valmisteisiin.²⁰⁰

EU:ssa toimii Euroopan lääkevirasto (*European Medicines Agency* EMA) ja Euroopan lääkevirastojen yhteinen verkosto (*Heads of Medicines Agencies* HMA). EMA vastaa ihmisille ja eläimille tarkoitettujen lääkevalmisteiden tieteellisestä arvioinnista, valvonnasta ja turvallisuusseurannasta ja myöntää lääkevalmisteiden myyntiluvat EU:n ja ETA:n alueelle (EU 2025). HMA puolestaan keskittyy tiedonvaihtoon ja esimerkiksi eurooppalaisen lääkevalvonnan kehittämiseen

198 DG-SANTE ym. 2021; European Commission 2026a.

199 European Commission 2026b; Fimea 2023.

200 European Commission 2023b; Fimea 2023.

ja yhtenäistämiseen. HMA:han kuuluvat jäsenmaiden toimivaltaisten lääkeviranomaisten johtajat.²⁰¹ EU:n Terveys hätätilanteiden valmiusviranomaisen HERA (*Health Emergency Preparedness and Response Authority*) tukee myös osaltaan lääkkeiden saatavuuteen liittyvää ennakkointia ja varautumista erityisesti lääkkeiden yhteishankintojen avulla.²⁰² Koronapandemian aikana EU-tasolla luotiin myös strategiset lääkevarastot sellaisia tilanteita varten, joissa kansalliset toimet eivät riitä. HERAN perustamisen myötä tähän työhön on osoitettu 1,2 miljardia euroa.²⁰³

EU:lla on viimeksi vuonna 2025 päivitetty, **kriittisistä ihmisille tarkoitetuista lääkkeistä koostuva luettelo**, jolla tuetaan EMA:n, HMA:n ja Euroopan komission yhteistyötä lääkkeiden saatavuuden varmistamiseksi. Luettelo sisältää lääkkeitä, jotka on todettu kriittisiksi EU:n kansalaisten terveyden turvaamiseksi muun muassa sairauden vakavuuden ja vaihtoehtoisten lääkkeiden puuttumisen perusteella.²⁰⁴ Lääkepula tarkoittaa tilannetta, jossa tietyn lääkkeen tarjonta ei vastaa sen kysyntää. Nämä ratkaistaan usein kansallisella tasolla. Kun lääkepula vaatii Euroopan tasolla koordinoituja toimia, on kyseessä *kriittinen* lääkepula.²⁰⁵ Tämän tutkimuksen haastateltavat kuvailivat, että lääkkeiden kriittisyydelle ei ole yksiselitteistä määritelmää, vaan kyse on kontekstisidonnaisesta asiasta. Suomen velvoitevarastoivat lääkkeet esimerkiksi eroavat EU:n kriittisten lääkkeiden listasta. Eri maiden hoitokäytännöt näkyvät kriittisyyden määritelmien vaihtelevuutena.

Komissio julkaisi 11.3.2025 **ehdotuksen kriittisiä lääkkeitä koskevasta asetuksesta**, jonka tarkoituksena on muun muassa kriittisten lääkkeiden saatavuuden parantaminen EU:ssa, toimitusketjujen monipuolistaminen ja lääkkeiden valmistuksen edistäminen EU:ssa. Säädöksellä tuettaisiin esimerkiksi strategisiksi tunnistettuja teollisuushankkeita, joita autetaan nopeutetulla hallinto-, sääntely- ja tutkimustuella. Komissio voisi tehdä jäsenmaiden pyynnöstä yhteishankintoja saatavuuseroja lieventääkseen. Julkisia hankintoja uudistettaisiin niin, että niitä voidaan hyödyntää toimitusketjujen monipuolistamisessa: kriittisten lääkkeiden hankintamenetelyissä olisi aiempaa enemmän vaatimuksia, kuten monipuoliset

201 Heads of Medicines Agencies 2024.

202 European Commission 2023c.

203 European Commission 2023a.

204 EMA 2026a.

205 European Commission 2023c.

raaka-ainelähteet sekä toimitusketjujen seuranta, ja hyvin keskitetyn tuotannon tapauksessa myös EU:hun sijoittuvan tuotannon suosiminen.²⁰⁶

EMA ja HMA ylläpitivät vuosina 2016–2024 työryhmää, joka tarjosi strategisia ja rakenteellisia ratkaisuja lääkkeiden toimitushäiriöiden ratkaisemiseksi ja niiden saatavuuden varmistamiseksi EU:ssa.²⁰⁷ Työryhmän myötä perustettiin vuonna 2022 lääkepulaa käsittelevä keskitetty yhteyspiste (*single point of contact* eli SPOC) -työryhmä, joka seuraa ja raportoi lääkkeiden saatavuutta EU:ssa ja pyrkii parantamaan jäsenvaltioiden, EMA:n ja Euroopan komission välistä tiedonvaihtoa ihmis- ja eläinlääkkeiden puutteista ja auttaa koordinoimaan puutteiden hallintaa. Varsinainen koordinointi on kuitenkin EMA:n Lääkkeiden puutetta ja turvallisuutta käsittelevän toimeenpanevan ohjausryhmän (*Executive Steering Group on Shortages and Safety of Medicinal Products* MSSG) vastuulla.²⁰⁸ EMA on parhaillaan perustamassa eurooppalaisen lääkepulan seurantafoorumia (*European Shortages Monitoring Platform* ESMP), joka kerää tietoa kansallisilta lääkeviranomaisilta ja lääkkeiden myyntilupien haltijoilta lääkkeiden kysynnästä ja tarjonnasta toimitusongelmien ehkäisemiseksi ja hallitsemiseksi.²⁰⁹ Haastatteluissa nousi esiin ehdotus, jonka mukaan ESMP:ssä tulisi hyödyntää Euroopan lääkevarmennusjärjestelmän tietoja saatavuudenhallinnassa. Järjestelmä antaa ajantasaista tietoa kaikkien eri jäsenvaltioissa toimitettavien reseptilääkkeiden pakkausten määrästä.

MSSG on kehittänyt vuonna 2024 pilotoitua vapaaehtoista solidaarisuusmekanismia, jonka kautta EU:n jäsenmaat voivat pyytää apua kriittisiin saatavuushäiriöihin. Sen kautta tehtiin seitsemän solidaarisuusmekanismipyyntöä vuonna 2024, enimmäkseen sytostaatteihin liittyen.²¹⁰ Tammikuussa 2024 perustettiin kriittisten lääkkeiden allianssi (*Critical Medicines Alliance*), joka kokoaa yhteen jäsenvaltioiden kansalliset viranomaiset, teollisuuden edustajat, terveydenhuoltoalan järjestöt, kansalaisyhteiskunnan edustajat, komission, EU:n virastot sekä tiedeyhteisön kehittämään toimenpiteitä kriittisten lääkkeiden puutteiden ehkäisemiseksi ja ratkaisemiseksi.²¹¹

206 European Commission 2025a.

207 EMA 2024.

208 EMA 2023; EMA 2026b.

209 Ks. EMA 2025b; Lehtinen ym. 2025.

210 Lehtinen ym. 2025.

211 European Commission 2024a.

1.6 Lääkkeiden saatavuuden hallinta Suomessa

Lääkkeiden tuotantoketjujen toimijoita ovat esimerkiksi **lääkeyritykset**, jotka päättävät lääkevalmisteiden myyntilupien hakemisesta tietyille maantieteellisille alueille, kuten EU:hun. Myyntiluvan saamisen jälkeen ne päättävät, minkä maiden markkinoille tuovat lääkkeensä. Lääkeyritysten tulee varmistaa, että lääkevalmistetta on kysyntää vastaava määrä, eli ne seuraavat markkinoita ja ennustavat tulevaa kysyntää. **Läaketukkukaupat** ovat seuraava lenkki lääkkeiden toimitusketjussa, ja niiden tulee toimittaa **vähittäisjakelijoille**, eli apteekkeille, sairaala- apteekkeille ja eläinlääkäreille, niiden tarvitsema määrä lääkkeitä. Vähittäisjakelijat vastaavat oman toimialueensa lääkehuollosta. Toimitusketjua valvoo **lääkeviranomainen** eli Suomessa Fimea. Fimea tekee myös kansainvälistä yhteistyötä EU-tasolla esimerkiksi EMA:n ja muiden maiden kansallisten lääkeviranomaisten kanssa saatavuushäiriöihin liittyen.²¹²

Suomen terveydenhuollon huoltovarmuuden toteutuminen perustuu kansainvälisiin markkinoihin lääkkeissä, hoitotarvikkeissa ja lääkintälaitteissa. Suomi on hyvin riippuvainen lääkkeiden maahantuonnista, sillä Suomeen tuodaan lopputuotteina eurooppalaisissa tehtaissa valmistettuja lääkkeitä. Suomessa markkinoitavien lääkkeiden tuontiriippuvuuksia tulee siis tarkastella osana EU:n riippuvuuksia. Lääkeaineita tuodaan Yhdysvalloista, Kiinasta ja Intiasta jatkojalostettavaksi eurooppalaisiin tehtaisiin (ks. lisää alempana). Suomen lääketuotanto on rajallista.²¹³

Suomessa on **velvoitevarastointilaki**, jonka tarkoituksena on varmistaa lääkkeiden saatavuus. Laki koskee lääketehtaita, lääkkeitä maahantuojia, terveydenhuollon yksiköitä sekä Terveyden ja hyvinvoinnin laitosta rokotteiden osalta. Velvoitevarastointilaki ja valtioneuvoston asetus määrittävät, mitä lääkkeitä varastointi koskee. Varastointivelvoite kattoi 16 prosenttia kaikista markkinoilla olevista lääkkeistä vuonna 2021.²¹⁴ Varastoinnin määrä perustuu lääkkeen menneeseen myyntiin tai kulutukseen niin, että eri toimijoille ja lääkeryhmille on omat vaatimuksensa.²¹⁵ Esimerkiksi terveydenhuollon yksiköiden tulee varastoida kuuden kuukauden kulutusta vastaava

²¹² Lehtinen ym. 2022.

²¹³ Laakkonen ym. 2023; Lehtinen ym. 2022.

²¹⁴ Lehtinen ym. 2022.

²¹⁵ Ks. Lehtinen et al 2022, 11.

määrä mikrobilääkkeitä.²¹⁶ Velvoitevarastoinnin lainsäädännön uudistus on juuri alkamassa haastateltavien mukaan.

Toimijat, joita velvoite varastoida lääkkeitä koskee, voivat hakea Fimealta **alituslupaa** velvoitevarastointiin esimerkiksi saatavuushäiriöiden tapauksessa. Fimea myöntää luvan, jos huoltovarmuus ei vaarannu. Terveystieteiden tutkimuskeskukset voivat tarvittaessa alittaa varastointivelvoitteensa ilman erillistä lupaa. Tilanteessa, jossa esimerkiksi yhden lääkeryhmän lääkkeitä koskee saatavuushäiriö, voi sosiaali- ja terveysministeriö myöntää Fimean esityksestä luvan käyttää velvoitevarastoja. Hoitava taho voi hakea Fimealta **erityislupaa** lääkevalmistelle, jolla ei ole Suomessa myyntilupaa, jos muuta tuotetta ei ole saatavilla. **Poikkeuslupa**, joka sallii lääkevalmisteen myyntiluvan ehdoista poikkeamisen, voidaan puolestaan myöntää jos kriittisen lääkkeen saatavuuteen on odotettavissa katkos. Suomeen voitaisiin tällaisessa tapauksessa tuoda esimerkiksi lääkkeitä, joiden pakkaukset ovat vieraskielisiä.²¹⁷ Haastateltavat kuvaavat, että EU-tasolla suunnitellaan lääkkeille **sähköisiä pakkausselosteita**. Haastateltavat arvioivat digipakkausten helpottavan lääkkeiden koordinoimista eri EU-maiden välillä saatavuushäiriöissä, mutta eräs heistä esitti myös huomion, että toisaalta Suomi on pienenä markkinana (noin 1,3 prosenttia Euroopan lääkemarkkinasta) hyötynyt siitä, että suomenkielisiin pakkauksiin paketoitujen lääkkeiden ei ohjautu herkästi muihin maihin. Yksi ehdotettu ratkaisu on myös yhteispuhjoismaisista pakkauksista, jolloin markkinan koko olisi yksittäistä maata houkuttelevampi.

Lääkelain mukaan lääketukkukaupan tulee ”viipymättä ilmoittaa lääkkeitä tilanneelle apteekille, sairaala-apteekille, lääkekeskukselle tai eläinlääkärille tilatun lääkkeen jakelutarkkailusta” sekä Fimealle ja kaikille apteekkeille, sairaala-apteekkeille, lääkekeskuksille ja eläinlääkäreille lääkejake-lun häiriö- ja keskeytystilanteesta, jolla on merkittävä vaikutus lääkejake-lun toteuttamiselle.²¹⁸ Fimean mukaan myyntiluvan haltijat ilmoittavat saatavuushäiriöistä yleensä myöhään: vuonna 2024 alle 10 prosenttia ilmoituksista tehtiin yli kaksi kuukautta ennen saatavuushäiriötä, kuten lääkelaki edellyttäisi, ja yli 40 prosenttia ilmoituksista tehtiin saatavuushäiriön jo alettua. Joskus tieto saatavuushäiriöstä tulee Fimean tietoon apteekista tai kuluttajilta, jolloin Fimea on erikseen pyytänyt

216 Lehtinen ym. 2022.

217 Lehtinen ym. 2022.

218 Lääkelaki 395/1987.

lääkeyrityksiltä saatavuushäiriöilmoituksia.²¹⁹ Eurooppalaisessa CHESSMEN-tutkimushankkeessa²²⁰ selvitetään parhaillaan muun muassa saatavuushäiriöiden taustasyitä. Erään haastateltavan mukaan hankkeessa on huomattu tarve häiriöilmoitusten tarkentamiselle. Kansallisen myyntiluvan haltijoilla, jotka häiriöistä raportoivat, on kuitenkin usein puutteellisesti tietoa häiriöiden juurisyistä.

Suomessa lääkinnällisten laitteiden hallinta perustuu EU:n ja kansalliseen lainsäädäntöön sekä kansalliseen valvontaan, jossa keskeinen toimivaltainen viranomainen on Fimea²²¹. Lääkinnällisiä laitteita säätelee pääasiassa EU:n lääkinnällisten laitteiden asetus ja sen kansallinen täydennys,²²² siinä missä henkilönsuojaimia (*personal protective equipment*, PPE) koskee erillinen EU:n henkilönsuojainasetus ja kansallisesti muun muassa työturvallisuuslaki ja valtioneuvoston asetus henkilönsuojainten valinnasta ja käytöstä työssä²²³. Suomessa PPE-tuotteita valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. Haastateltavan mukaan suojainten oikeudellinen asema määräytyy valmistajan määrittämän käyttötarkoituksen perusteella. Esimerkiksi kirurgiset maskit luokitellaan lääkinnällisiksi laitteiksi, kun taas hengityksensuojaimet ovat henkilönsuojaimia, ja osa tuotteista (kuten suojatakit ja käsineet) voi kuulua joko MDR- tai PPE-lainsäädännön piiriin käyttötarkoituksesta ja laatuvaatimuksista riippuen. CE-merkintään perustuva harmonisoitu sääntely mahdollistaa henkilönsuojainten ja lääkinnällisten laitteiden saattamisen EU:n sisämarkkinoille ilman kansallista myyntilupamenettelyä,²²⁴ mikä tarkoittaa, että niitä voi liikutella sisämarkkinoilla lääkkeitä joustavammin. Kriittisyyden määrittely lääkinnällisille laitteille ei ole yhtä vakiintunutta kuin lääkkeissä, vaan eri toimijoilla on omia riskiperusteisia luokituksiaan.

219 Lehtinen ym. 2025.

220 Coordination and Harmonisation of the Existing Systems against Shortages of Medicines - European Network.

221 Ks. Fimea n.d.

222 Laki lääkinnällisistä laitteista 719/2021; Regulation EU 2017/745.

223 Regulation EU 2016/425; Sosiaali- ja terveysministeriö 2021; Työturvessuolaitos n.d.; Työturvessuolaitoslaki 738/2002.

224 Your Europe 2026.

1.7 Varautumisen keinoja

Keskeisiä keinoja lääkkeiden, laitteiden ja suojainten toimitusvarmuuden vahvistamiseen:

- Toimitusketjuja monipuolistetaan ilmastonmuutoksen ja geopoliittisten riskien vähentämiseksi.
- Lisätään strategisesti tärkeiden vaikuttavien lääkeaineiden ja lääkinnällisten laitteiden tuotantoa Suomessa ja EU:ssa (taloudelliset kannustimet, verotuet, investointiohjelmat).
 - Tuetaan lääkealan tutkimuksen ja osaamisen säilymistä Suomessa.
- Kotimaisen lääkemarkkinan toimintaedellytyksiä vahvistetaan ennakoivalla ja riittävän kannustavalla hinnoittelu- ja hankinta-politiikalla.
- Kasvatetaan kriittisten lääkkeiden, vaikuttavien lääkeaineiden, lääkinnällisten laitteiden ja henkilönsuojainten varmuusvarastoja kansallisesti ja EU-tasolla tuotteiden säilyvyys ja varaston kierron tehostaminen huomioiden.
- Sääntelyä kehitetään niin, että nopeutetaan uusien toimijoiden markkinoillepääsyä, kevennetään byrokratiaa (mm. digipakkauselosteet) ja luodaan joustomekanismeja kriisitilanteita varten.
- Parannetaan tietopohjaa ja tilannekuvaa yhdessä EU-toimijoiden kanssa ja kehitetään viranomaisten ja teollisuuden välistä tiedonvaihtoa.
 - Ymmärrystä lääkehuollon yhteyksistä eri sektoreihin kartoitetaan tarkemmin (esim. eläintuotantoon) ja saatavuushäiriöiden systeemisistä taustasyistä tutkitaan yksityiskohtaisemmin.
 - Lääkehuollon johtamisjärjestelmää selkeytetään ja laaditaan tuotteiden priorisointikehikko etenkin pitkäaikaisia häiriötilanteita ajatellen.
 - Kokonaiskuvaa tuotantoketjuista ja tilannekuvaa saatavuushäiriöistä on kehitettävä etenkin lääkinnällisistä laitteista Suomessa.
- Julkisia hankintoja uudistetaan niin, että painotetaan hintaa koskevien kriteerien lisäksi toimitusvarmuutta, ympäristövastuuta ja riskienhallintakykyä ja sallitaan usean toimittajan valinta.
- Kestävyyssiirtymään suhtaudutaan ennakoivasti niin, että panostetaan vaihtoehtoisten materiaalien ja raaka-aineiden ja ympäristöystävällisten prosessien kehittämiseen.

Lääkehuollon varautuminen rakentuu karkeasti kolmelle peruspilarille: 1) hajautus ja kapasiteetti (monipuoliset toimitusketjut, EU- / kotimainen tuotantokapasiteetti), 2) ohjaus ja markkinat (sääntelyjoustot, nopeutettu markkinoillepääsy, uudistetut hankintakriteerit) sekä 3) tieto ja hallinta (yhtenäinen raportointi, integroitu tilannekuva, selkeät vastuut ja priorisointiperiaatteet). Näitä kehittämällä kyky ennakoida häiriöitä ja selvittää niistä parantuu riippumatta siitä, johtuuko häiriö ilmastonmuutoksesta, geopolittisista jännitteistä vai markkinadynamiikasta.

Grumiller ym. ehdottavat lääkkeiden, lääkinnällisten laitteiden ja suojaruokavarojen tuotantoketjujen resilienssin lisäämiseen seuraavia toimia: tuotantoketjujen kotiuttaminen taloudellisten ja muiden kannustimien avulla; kansallisten ja EU-tason varmuusvarastoinnin lisääminen; toimittajien ja alueiden monipuolistamiseen kannustaminen; erityisesti tuotantomenetelmien muuttamiseen tähtäävä innovaatiopolitiikka; sääntelyn ja instituutioiden muuntaminen niin, että uudet tuottajat pääsevät markkinoille nopeammin; julkisten hankintakriteerien uudistaminen strategisemmiksi; teollisten yhteisalueiden luominen EU:n tuotantovalmiuksien sopeutumiskyvyn kasvattamiseksi. Tärkein näistä toimista on heidän mukaansa **toimittajien monipuolistaminen** sääntelyn avulla, sillä tuotantoketjujen kotiuttaminen ja varastojen kasvattaminen ovat kalliita toimia. Kunkin tuotteen toimitusketju on kuitenkin omanlaisensa, eli tarvitaan tuotekohtaista analyysiä sopivista politiikkatoimista, sillä esimerkiksi tuotteiden säilyvyys voi olla erilainen, mikä puolestaan vaikuttaa varastointimahdollisuuksiin. **Lääkinnällisten laitteiden** kohdalla digitaalitekniikka (3-D-tulostus) yhdessä konetekniikan kanssa luo mahdollisuuksia tukea monenlaisten tuotteiden tuotantoa.²²⁵ Muiksi tuotantoketjujen resilienssiä kasvattaviksi toimenpiteiksi on kirjallisuudessa mainittu esimerkiksi kommunikoinnin kehittäminen toimitusketjun eri osapuolten välillä ja toimitusketjuun liittyvien digitaalisten verkkojen vahvistaminen.²²⁶

Suurin haaste geneeristen vaikuttavien lääkeaineiden tuotannon kotouttamiseen EU:hun liittyy niiden heikkoon kannattavuuteen. Raza ym. mukaan tilanteen taustalla ovat seuraavat syyt: 1) kansainvälinen kilpailu ja kustannuspaineet, jotka liittyvät suuriin tuotantomääriin, alhaisiin palkkoihin ja alhaisiin ympäristösäädöksiin, 2) EU:n ostajat (sairausvakuutuskassat, sairaalat jne.) keskittyvät

²²⁵ Grumiller ym. 2021; myös IQVIA 2020.

²²⁶ Lawrence ym. 2020.

hintaan ja laatuun eivätkä muihin kriteereihin, kuten toimitusvarmuuteen tai ympäristönormeihin, 3) suuret lääkeyritykset keskittyvät osakkeenomistajien arvoon, eli mahdollisimman suuren voiton tuottamiseen sijoittajilleen. Tuotannon sijoittuminen EU:hun edellyttäisi siis sekä **teollisuuspoliittisia** toimenpiteitä, kuten tukia ja verokannustimia, että **sääntelytoimenpiteitä**.²²⁷

Haastatteluaineiston perusteella yhtenä varautumisen keinona voidaan pitää **lääkemarkkinoiden toimintaedellytysten vahvistamista** siten, että Suomen suhteellinen houkuttelevuus markkina-alueena ei heikkene liiallisesti alhaisen hintatason seurauksena. Useat haastattavat toivat esiin esimerkiksi sen, että matalat tukkuhinnat voivat johtaa valmisteiden markkinoilta poistumiseen, ja yhtäaikaista saaraaloiden kilpailutukset keskittävät myyntiä edelleen harvemmille voittajille. Ylipäätään alati kapeneva toimijoiden määrä alalla lisää saatavuushäiriöiden todennäköisyyttä, ja tästä näkökulmasta hinnoittelu- ja hankintapolitiikan ennakoitavuus sekä riittävä kannustavuus ovat osa kansallista lääkehuollon riskienhallintaa.

Haastattavat näkivät **lääkkeiden velvoitevarastoinnin** hyvänä asiana, mutta monet muistuttivat, että velvoitevarastointi auttaa ennen kaikkea suhteellisen lyhyissä häiriötilanteissa. Haastattelujen perusteella varastoitavien tuotteiden listaa tulisi päivittää. Tulisi selkeyttää, millaisiin tilanteisiin halutaan ylipäätään varautua ja tarkistaa, kattaako myös materiaallinen varautuminen esimerkiksi erityyppiset pandemiat. Teollisuuden edustajien näkökulmasta velvoitevarastointi on hankalaa, sillä siitä saatu korvaus ei kata kustannuksia – ainakin niin sanottujen käyttömukavuustuotteiden varastoinnin laajuutta voisi vähentää. Varaston kiertoa olisi myös syytä kehittää, jotta lääkkeet eivät vanhene.²²⁸ Velvoitevarastointi on tuontipolttoaineiden ja lääkkeiden laissa säädetyn minimimäärän varmuusvarastointia, josta huolehtivat tuontipolttoaineiden maahantuoja ja tärkeimmät käyttäjät sekä lääkkeiden valmistajat, maahantuoja, kunnalliset terveydenhuollon toimintayksiköt sekä Terveyden ja hyvinvoinnin laitos.²²⁹

Haastattava ehdotti, että turvavarastointia voitaisiin soveltaa lääkealaan. Turvavarastointi tarkoittaa varmuusvarastointia, josta yritys huolehtii vapaaehtoisesti turvatakseen oman toimintansa häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa.²³⁰ Haastattavien mukaan monet

227 Raza ym. 2021.

228 Ks. myös Väre 2022.

229 Sanastokeskus 2017.

230 Sanastokeskus 2017.

EU-maat rakentavat nyt lääkkeiden varmuusvarastoja, ja EU-tasolla on yhteisvarastoja. EU-tason yhteisvarastoista hyötyminen voi viivästyä kriisitilanteessa Suomen maantieteellisen sijainnin vuoksi. Useat kertoivat myös koronapandemian perusteella havainneensa, että muiden valtioiden solidaarisuuteen kriisiaikoina ei kannata luottaa, eli jonkinlaisesta omasta tuotantokyvystä olisi Suomessa hyvä pitää huolta.

Haastateltavien mukaan sääntelyä tulisi kehittää joustavamaksi esimerkiksi niin, että pakkauksiin liittyvä byrokratia kevenisi digitaalisten pakkausselosteiden avulla.²³¹ Kansallisten pakkausten sijaan voitaisiin kehittää myös yhteispohjoismaisia pakkauksia markkina-alueen koon kasvattamiseksi, jolloin saatavuushäiriöiden riski voisi pienentyä. Poikkeusoloja tai vakavia häiriöitä varten joustomekanismien tulisi olla selkeitä. Haastattelujen perusteella tarvetta on esimerkiksi sille, että lainsäädäntö sallisi nopeutetulla prosessilla kotimaisen lääkinnällisen laitteen valmistuksen kriisitilanteessa.

Lääkkeiden huoltovarmuuden ja strategisen omavaraisuuden kasvattaminen nähtiin laajalti hyvänä tavoitteena haastateltavien kesken. Osa korosti sitä, että **omasta tuotantokyvystä** tulisi pitää huolta sekä lääkkeissä että lääkinnällisissä laitteissa. Kapasiteetin nosto yllättäen vasta kriisitilanteessa on usein hyvin hankalaa, sillä etenkin lääkkeiden tuotantoketjut ovat pitkiä. **Tutkimuksen ja osaamisen säilyttäminen** Suomessa nähtiin osana varautumista. Suomessa tulisi ylläpitää osaamista valmistaa erityyppisiä lääkemuotoja, kuten infuusionesteitä ja tabletteja. Eurooppalaiset valmistajat keskittyvät nykyisin tiettyihin vaikuttaviin aineisiin (esim. pienet tuotantomäärät, monimutkaiset tuotantoprosessit), mutta teknistä taitotietoa ja kapasiteettia eurooppalaisen vaikuttavien aineiden tuotannon lisäämiseksi olisi edelleen saatavilla.²³²

Haastatteluiden perusteella on siis ilmeistä, että lääkkeisiin liittyvän **varautumisen ei pitäisi jäädä vain materiaaliselle tasolle**. Myös ymmärryksen lisääminen – haavoittuvuuksien ja saatavuushäiriöiden tarkempi tutkiminen – nähtiin tärkeänä, jotta riskejä voidaan sen pohjalta tunnistaa ja niihin voidaan paremmin varautua. Esimerkiksi lääkehuollon **keskinäisriippuvuutta** muihin sektoreihin nähden tulisi kartoittaa tarkemmin (esim. sähköiset reseptit). Lisäksi ihmisten lääkkeiden saatavuuden tarkastelussa unohtuvat usein eläinten lääkkeet: miten esimerkiksi ihmisten lääkkeiden käyttöönotto eläimille vaikuttaa lääkkeiden saatavuuteen? Eräs haastateltavista puolestaan

231 Myös esim. Medicines for Europe 2024.

232 MundiCare 2020.

pohti, kuinka horisontaaliselle keskustelulle ja vaikutustenarvioinnille olisi tarvetta, sillä Suomessa lainsäädännön valmistelu tapahtuu yksittäisten ministeriöiden kautta, mutta lakien vaikutukset ulottuvat usein sektorirajojen yli.

Muutamat haastateltavat ehdottavat, että tarvitaan **johtamisjärjestelmän kehittämistä**, jotta kriisitilanteessa kunkin vastuut olisivat selkeät ja toiminta olisi koordinoitumpaa. Eräs haastateltava kuvaili, kuinka koronapandemian aikana huomattiin, että kenelläkään ei ole **kokonaisvastuuta eikä tilannekuvaa** lääkehuollosta. Tämä johti monen kuvailemaan, edelleen säännöllisesti kokoontuvan lääketoimijoiden verkoston tai saatavuustyöryhmän perustamiseen. Verkostoon kuuluvat muun muassa Fimea, HVK, Lääketeollisuus ry, Rinnakaislääketeollisuus ry sekä lääkeyrityksiä ja apteekkien edustajia. Verkostossa käydään läpi alan tilannekuvaa kunkin toimijan tietoihin perustuen. Esimerkiksi teollisuuden edustaja voi kuvailla, että Saksa kehittää velvoitevarastointia, mikä tulee tarkoittamaan kysyntäpiikkiä.²³³ Moni haastateltavista toivoi silti parempaa tilannekuvaa lääkkeiden saatavuudesta ja häiriöistä – ja kansallinen lääketietovaranto onkin nyt työn alla.²³⁴ Kansallisen ja EU-tason tietojen linkittyminen nähtiin tärkeänä. **Kokonaiskuvaa lääkinnällisten laitteiden tuotantoketjuista ja tilannekuvaa saatavuushäiriöistä** on myös kehitetty Suomessa.

Haastateltavat näkivät tärkeänä varautua **tuotteiden priorisointiin** silloin, kun saannissa on häiriöitä, etenkin pitkäaikaisissa poikkeusoloissa. Tulisi suunnitella, kenellä on vastuu priorisoida ja millä perusteella. Nykyisessä tilanteesta tästä on epätietoisuutta, mikä on johtanut epäyhtenäisiin käytäntöihin. Myös tutkimuskirjallisuudessa on kehoitettu kehittämään kansallisia toimintalinjoja kriisiaikojen lääkkeiden määräämistä varten, eli niitä tilanteita varten, joissa lääkkeistä on laajasti pulaa.²³⁵

Toimittajien ja alueiden monipuolistaminen **kilpailutuksen kriteereitä uudistamalla** nousi esiin monessa aikaisemmassa selvityksessä²³⁶ ja asiantuntijahaastatteluissa. Hankintakilpailutuksessa voitaisiin hinnan lisäksi tarkastella toimitusketjun riskejä tai ympäristökriteereitä. Useamman toimittajan valitsemisen salliminen voisi myös monipuolistaa tuotantoketjuja.²³⁷ Kilpailutuksen kriteereiden

233 Ks. myös Latonen ym. 2023.

234 Fimea 2025.

235 Ks. Black 2022.

236 Esim. IQVIA 2020; Lehtinen ym. 2022; Mattlin ym. 2023.

237 Mattlin ym. 2023.

uudistaminen ei kuitenkaan saisi johtaa vaihtoehtoisten tarjoajien vähenemiseen.²³⁸ Eräs haastateltava myös muistutti, että toimitusvarmuuden huomioiminen kilpailutuksessa ei saisi johtaa markkinoille tulon esteisiin yrityksille. Lehtinen ym. ehdottavat, että erityisiä tuotanto-olosuhteita, kuten erityispuhtaita tuotantotiloja, edellyttävien lääkevalmisteiden hankinnoissa voitaisiin määritellä minimivähittäishinta, jolla valmisteita voidaan tarjota toimitusvarmuuden ja laadun kannalta kestävästi.

Haastateltavien näkemykset lääkkeiden saatavuushäiriöihin varautumisen keinoista voidaan tiivistää niin, että toimitusketjujen turvaaminen on tärkeää, sillä kaikkea tuotantoa ei voi tuoda Eurooppaan. On esimerkiksi mahdollista kartoittaa vaihtoehtoisia logistisia reittejä ja varmistaa kriittisten tuotteiden riittävän suuret varastot. Paikallista tuotantoa, osaamista ja tutkimusta tulisi silti kasvattaa ja tukea. Monet haastateltavat mainitsivat tärkeäksi varautumiskeinoksi ennen kaikkea lääkemarkkinoiden toimivuuden takaamisen – sekä Suomessa että EU-tasolla (ks. osio *Lääkemarkkinat*). Koko arvoketjua tulisi tarkastella varautumismielessä: kustannustehokas arvoketju voi toimia hyvin normaalioloissa, mutta se on myös entistä herkempi häiriöille.

Suoraan ilmastonmuutokseen liittyviä varautumisen keinoja haastateltavat eivät erikseen tuoneet esiin. Monet toimitusketjujen resilienssin kasvattamiseen tähtäävät keinot toimivat kuitenkin häiriön tarkemmasta syystä riippumatta. Erityishuomiota vaatii silti kestävyyssiirtymään varautuminen lääkkeiden ja lääkinnällisten tarvikkeiden toimitusketjujen hallinnassa. Varautuminen edellyttää ennakoivia TKI-panostuksia vaihtoehtoisiiin materiaaleihin ja raaka-aineisiin sekä ympäristöystävällisiin prosesseihin.

238 Lehtinen ym. 2022.

2. Tapaustutkimus: Energiasiirtymän kriittiset raaka-aineet

Helmi Räisänen & Emma Hakala

2.1 Tiivistelmä

Tapaustutkimuksen aihe: Energiasiirtymän teknologioihin, etenkin litiumioniakkuihin, tarvittavat kriittiset raaka-aineet ja komponentit

Tutkimuskysymykset: Millaisia materiaalisia riippuvuuksia energia-teknologioihin liittyy? Millaisia riskejä ilmastonmuutoksen, vihreän siirtymän ja kasvavien geopolittisten jännitteiden yhteisvaikutukset synnyttävät energiasiirtymään vaadittavien materiaalien kannalta?

Energiasiirtymä vaatii monia EU:n kriittisiksi luokittelemia materiaaleja sekä komponentteja, joiden tuotanto on maantieteellisesti erittäin keskittynyttä. Esimerkiksi Kiina tuottaa tuuliturbiineihin tarvittavista neodyymimagneeteista 90 prosenttia ja on suurin globaali toimija myös litiumioniakkujen arvoketjuissa. Myös yritysten omistajuutta tarkastellen Kiinalla on yhä suurempi rooli kriittisten raaka-aineiden tuotannossa.

Energiasiirtymä kytkeytyy nykyisessä geopolittisessa tilanteessa yhä selvemmin valta-, turvallisuus- ja taloudellisen riippumattomuuden kysymyksiin. Esimerkiksi Kiinan vihreän teknologian tuotantokapasiteetti auttaa siirtymässä, mutta toisaalta aiheuttaa länsimaille riippuvuuden. Suurvaltojen kauppasuhteet ovat kiristyneet lähivuosina niin, että Yhdysvallat ja Kiina ovat asettaneet kriittisiin raaka-aineisiin, puolijohteisiin ja sotilasteknologiaan liittyviä vientirajoituksia toisilleen. Myös EU:ssa poliittiset päättäjät korostavat strategista autonomiaa, kriittisten toimitusketjujen kotouttamista sekä raaka-aineiden hankinnan monipuolistamista. Tuotantoketjujen keskittyneisyyteen liittyy lisäksi kasvavia ilmastonmuutoksesta ja sään ääri-ilmiöistä aiheutuvia riskejä. Esimerkiksi kuivuus, tulvat ja äärimmäiset lämpötilat aiheuttavat haasteita eri puolilla maailmaa sijaitsevalle kaivosinfrastruktuurille ja logistiikalle.

Energiasiirtymälle kriittisten toimitusketjujen turvaaminen hankaloituu yhä epävarmemmassa maailmassa. Monet tekijät, kuten energiasiirtymäpolitiikan kunnianhimo, teknologinen kehitys, kauppa- ja teollisuuspolitiikka, kulutustaso ja kierrätyksen määrä vaikuttavat osaltaan siihen, miten suureksi tiettyjen raaka-aineiden kysyntä tulevaisuudessa asettuu. Raaka-aineista kilpaillaan myös eri sektoreiden välillä, sillä niitä tarvitaan energiasiirtymän lisäksi esimerkiksi digitalisaatioon ja kasvavaan puolustusteollisuuteen. Kriittisten raaka-aineiden kierrättäminen ja laajemmin kiertotalouden edistäminen vähentäisivät tarvetta neitseellisen raaka-aineen tuottamiseen ja lisääisivät raaka-aineiden toimitusvarmuutta ja kestävyyttä.

Suomi on monin tavoin riippuvainen raaka-aineiden ja energia-tekniologioiden globaaleista markkinoista, ja niissä keskeisiä ovat erityisesti monet EU:n tunnistamat riippuvuudet ja haavoittuvuudet. Suomellekin välttämätön energiasiirtymä nojaa vahvasti kriittisten raaka-aineiden ja komponenttien saatavuuteen, ja siksi toimitusketjujen häiriöihin varautuminen on keskeinen osa siirtymän kestävyyttä ja huoltovarmuutta. Suomessa ja EU:ssa omavaraisuustoimet on toteutettava ennen kaikkea siten, ettei energiasiirtymä viivästy. Kotimaisen raaka-ainetuotannon kasvattaminen on raaka-aineiden riittävyyden näkökulmasta perusteltua, mutta samalla on tunnistettava, ettei ulkopuolisista riippuvuuksista ole mahdollista irtautua. Lisäksi siirtymää tulisi edistää esimerkiksi liikennesektorilla kokonaisvaltaisesti eikä yksityisautoiluun nojautuen. Raaka-aineiden kokonaiskulutuksen vähentäminen tukisi sekä kestävyystavoitteita että huoltovarmuutta.

Tapaustutkimuksen keskeisiä tuloksia kirjallisuuskatsaukseen ja haastatteluaineistoon perustuen:

- Vihreiden teknologioiden raaka-aineiden saantihäiriöt eivät johda akuuttiin energiapulaan, mutta häiriöt voivat hidastaa energiasiirtymää.
- Kriittisten raaka-aineiden riittävyys lähitulevaisuudessa on mahdollinen pullonkaula energiasiirtymälle.
 - Muun muassa litiumista, kuparista, koboltista, nikkelistä ja grafiitista voi tulla pulaa, mikäli niiden tuotantoa ei riittävästi lisätä.
 - Parhaimmat mineraaliesiintymät on jo käytetty, jolloin joudutaan hyödyntämään heikompien pitoisuuksien esiintymiä, mikä vaatii enemmän energiaa ja aiheuttaa enemmän ympäristöhaittoja.
 - Kaivosten muodosta ja sijainnista riippuen tuotannon lisääminen voi olla haastavaa tai jopa mahdotonta.
 - Kaivosten ja muiden tuotantolaitosten paikallinen vastustus voi hidastaa arvoketjujen kehittämistä ja kotimaisen tuotannon lisäämistä.
 - Raaka-aineiden kysynnän ja hinnan kasvu on johtanut vain maltilliseen malminetsinnän lisäämiseen esimerkiksi kuparin ja litiumin kohdalla, eikä etsintä aina kohdistu siirtymän kannalta kriittisimpiin vaan taloudellisesti tuottavimpiin raaka-aineisiin.
- Kokonaiskuva sekä yhteiskuntien eri sektorien tarvitsemista raaka-ainetarpeista Suomessa että laajemmin globaalista raaka-aineiden tarpeesta ja riittävydestä on puutteellinen eikä ohjaa tarvittavissa määrin politiikkatoimia. Tämä näkyy esimerkiksi käyttökohteiden priorisoinnin puuttumisena.
- Energiasiirtymä on suuren mittakaavan teollinen murros, jonka materiaallinen ja tuotannollinen ydin sijaitsee Kiinassa tuoden maalle lisää vaikutusvaltaa.
 - Geopoliittiset riskit ovat realisoituneet esimerkiksi eri maiden asettamissa raaka-aineita ja komponentteja koskevilla vientirajoituksissa.
- Ilmastonmuutoksen suorat vaikutukset, kuten myrskytuhot ja kuivuus, voivat vaikuttaa kaivosten toimintaan ja raaka-aineiden logistiikkaketjuihin.

2.2 Kriittiset raaka-aineet

Kriittiset raaka-aineet ovat Euroopan komission määritelmän mukaan taloudellisesti erittäin tärkeitä raaka-aineita, joihin liittyy suuri toimitushäiriöiden riski, joka johtuu niiden lähteiden keskittymisestä sekä hyvien ja kohtuuhintaisten korvaavien tuotteiden puutteesta.²³⁹ Ne ovat usein välttämättömiä kriittisen infrastruktuurin ylläpitämisen ja energiasiirtymän edistämisen kannalta. Globaali kilpailu kriittisistä raaka-aineista kuitenkin kiristyy, osin juuri energiasiirtymän ja osin geopolittisten jännitteiden kohoamisen vuoksi. Energiasiirtymän vihreiden teknologioiden lisäksi raaka-aineita tarvitaan digitalisatiossa sekä ilmailu-, avaruus- ja puolustusteollisuudessa.²⁴⁰ Kriittisten raaka-aineiden saannin turvaaminen vaikeutuu niiden kysynnän kasvassa, mikä muodostaa merkittäviä huoltovarmuusriskejä Suomelle.

Tässä luvussa käsitellään ilmastonmuutoksen ja kestävyysmurroksen vaikutuksia energiasiirtymän kriittisten raaka-aineiden huoltovarmuuteen. Tarkastelu keskittyy litiumioniakkujen tuotantoketjuihin. Litiumioniakkujen ja muiden vihreiden teknologioiden merkitys yhteiskunnan toiminnalle on suuri, ja niiden saatavuuteen liittyy merkittäviä, ilmastonmuutoksen ja kestävyysmuutoksen myötä kasvavia epävarmuuksia, joten niiden tarkastelu on huoltovarmuuden kannalta olennaista. *Vihreällä teknologialla* tarkoitetaan tässä raportissa ratkaisuja, jotka edistävät siirtymää vähäpäästöiseen, resurssitehokkaaseen ja ekologisesti kestäväan yhteiskuntaan, kuten esimerkiksi uusiutuvan energian teknologioita. *Kestävyysmuutoksella* tarkoitetaan tässä systemaattista muutosprosessia, jossa yhteiskunnan rakenteet muutetaan ekologisesti kestäviksi ympäristön kantokyky, luonnonvarojen kestävä käyttö ja sosiaalinen oikeudenmukaisuus huomioiden. *Energiasiirtymä* tai *-murros* eli energiantuotannon ja -kulutuksen irrottaminen fossiilisista polttoaineista on osa kestävyysmuutosta.

239 Carrara ym. 2023; ks. myös Taulukko 1.

240 Hakala & Räisänen 2024b.

Raaka-aine	Kriittinen	Strateginen
Alumiini/bauksiitti ¹	x	
Antimoni	x	
Arseeni	x	
Baryytti	x	
Beryllium	x	
Boori	x	x ²
Fluorisälpä	x	
Fosfaattimalmi	x	
Fosfori	x	
Gallium	x	x
Germanium	x	x
Grafiitti	x	x ³
Hafnium	x	
Helium	x	
Kevyet harvinaiset maametallit (cerium, lantaani, neodyymi, praseodyymi, samarium)	x	x ⁴
Koboltti	x	x
Koksi	x	
Kupari	x	x
Litium	x	x ⁵
Maasälpä	x	
Magnesium	x	x ⁶
Mangaani	x	x ⁷
Metallinen pii	x	x
Nikkeli, akkulaatuinen	x	x
Niobi	x	

Platinametallit (iridium, palladium, platina, rhodium, rutenium)	x	x
Raskaat harvinaiset maametallit (dysprosium, erbium, europium, gadolinium, holmium, lutetium, terbium, tulium, ytterbium, yttrium)	x	x ⁴
Skandium	x	
Strontium	x	
Tantaali	x	
Titaanimetalli	x	x
Vanadiini	x	
Vismutti	x	x
Volframi	x	x

- 1 Alumiini ja bauksiitti on yhdistetty johdonmukaisuussyistä EU:n luokitteluihin.
- 2 Metallurginen boori on strateginen raaka-aine.
- 3 Akkulaatuinen grafiitti on strateginen raaka-aine.
- 4 Magneetteihin käytettävät harvinaiset maametallit ovat strategisia raaka-aineita (cerium, dysprosium, gadolinium, neodyymi, praseodyymi, terbium, samarium).
- 5 Akkulaatuinen litium on strateginen raaka-aine.
- 6 Magnesiummetalli on strateginen raaka-aine.
- 7 Akkulaatuinen mangaani on strateginen raaka-aine.

Taulukko 1. EU:n kriittiset ja strategiset raaka-aineet 2023 (perustuen Brião ym. 2022; European Commission 2023d; 2023e; GTK n.d.). Kriittiset raaka-aineet ovat raaka-aineita, joilla on suuri taloudellinen merkitys EU:lle ja joihin kohdistuu suuri toimituskatkoksen riski, kun taas strategiset raaka-aineet ovat lisäksi tärkeitä energiamurrokselle, digitalisaatiolle, ilmailu- ja avaruusalalle ja puolustukselle. Lisäksi strategisten raaka-aineiden tulevan kysynnän odotetaan ylittävän tarjonnan, ja niiden tuotannon lisääminen on todettu haastavaksi. Lähde: Carrara ym. 2023; European Commission 2023d.

Energiasiirtymä vaatii valtavasti mineraaleja. IEA:n arvion mukaan mineraalien kysyntä kaksinkertaistuu vuoteen 2030 mennessä ilmoitettujen politiikkatoimien skenaariossa (STEPS), joka kuvaa energiasysteemin vallitsevaa kehityssuuntaa nykyisten poliittisten linjausten perusteella. Nettonollaskenaariossa, jossa saavutetaan hiilineutraalius vuonna 2050 ja lämpeneminen rajoitetaan 1,5 celsiusasteeseen vuoteen 2100 mennessä, kysyntä puolestaan kolminkertaistuu vuoteen 2030 mennessä.²⁴¹ Louhinnan määrä kokonaisuudessaan kuitenkin vähenisi uusiutuviin energialähteisiin perustuvassa maailmassa verrattuna fossiilisia polttoaineita käyttävään

²⁴¹ IEA 2024a.

maailmaan; maailmassa louhitaan vuosittain 15 miljardia tonnia fossiilisia polttoaineita, kun taas kestävän kehityksen skenaariossa (jossa saavutetaan Pariisin sopimuksen mukaiset tavoitteet, parempi ilmanlaatu ja energiaan pääsyn oikeudenmukaisuus globaalisti) tarvittaisiin 28 miljoonaa tonnia raaka-aineita vuonna 2040.²⁴² Kiina on useiden kriittisten raaka-aineiden suurin toimittaja. Muita merkittäviä raaka-aineiden maailmanlaajuisia toimittajia ovat esimerkiksi Kongon demokraattinen tasavalta, Brasilia, Chile, Etelä-Afrikka ja Venäjä.²⁴³

Sähkön merkitys yhteiskunnissa on energiasiirtymän myötä kasvamassa. IEA on arvioinut, että sähköinfrastruktuurin ikääntymisen ja uusiutuvien energialähteiden lisäämisen myötä täytyisi maailmanlaajuisesti lisätä tai kunnostaa yli 80 miljoonaa kilometriä sähköverkkoa vuoteen 2040 mennessä, jotta kansalliset päästövähennystavoitteet voitaisiin saavuttaa. Määrä vastaa koko nykyistä maailmanlaajuisia verkkoa.²⁴⁴ Sähköverkkojen rakentamisesta uhkaakin IEA:n mukaan tulla energiasiirtymän pullonkaula: noin 2 800 GW uusiutuvia energialähteitä koskevia hankkeita, joista puolet jo pitkälle edenneitä, odottaa edelleen verkkoyhteyksiä. Määrä vastaa lähes viisinkertaisesti vuoden 2022 aikana lisättyä aurinkosähkö- ja tuulivoimakapasiteettia.²⁴⁵

Siirto- ja jakeluverkon rakentamisesta seuraisi raaka-aineista etenkin kuparin ja alumiinin kysynnän merkittävää kasvua, sillä niitä tarvitaan ennen kaikkea kaapeleihin ja johtoihin sekä esimerkiksi tehomuuntajiin.²⁴⁶ Vaikka kuparin tuotanto on hajautunutta, on EU luokitellut kuparin strategiseksi raaka-aineeksi sen hankalan korvattavuuden vuoksi.²⁴⁷ Ilmoitettujen ilmastotavoitteiden valossa pelkästään siirtojohdoissa, jakeluverkoissa ja muuntajissa käytettävän kuparin ja alumiinin yhteenlaskettu kysyntä lähes kaksinkertainen vuosikymmenellä 2041–2050 verrattuna vuosikymmeneen 2012–2021.²⁴⁸ Vaikka esimerkiksi kuparin kysynnän odotetaan ylittävän tuotannon, alalla ei tehdä riittävästi uusia, korkealaatuisia löytöjä tukemaan pitkän aikavälin tuotantoa.²⁴⁹

Verkkoteknologian toimitusketjuissa on ollut COVID-19-pandemian jälkeen häiriöitä, kun valmistajat ovat kohdanneet sekä

242 Ritchie 2023; myös IRENA 2023.

243 European Commission 2023d.

244 IEA 2023; 2024a.

245 IEA 2023; 2025a.

246 IEA 2023; 2024a.

247 European Commission 2023e.

248 IEA 2023.

249 Ks. DeCoff 2022; myös Vasara ym. 2023.

työvoima- että materiaalipulaa. Esimerkiksi suurten muuntajien toimitusajat ovat pidentyneet niin, että aikaisemmin kuukausia tai vuoden kestäneissä toimituksissa kestää nyt kolmesta viiteen vuotta. Yhdysvalloissa teollisuuden toipumista hurrikaani Helenistä hidasti muuntajien toimitusaikojen pidentyminen; Tennesseeen yrityksiltä kesti seitsemän kuukautta ennen kuin ne kuluttivat sähköä jälleen täysimääräisesti. Lisäksi Trumpin toisen kauden terästullit ovat nostaneet muuntajien hintoja.²⁵⁰

2.3 Akut energiarjestelmässä

Akut ovat oleellinen osa maailman energiarjestelmiä, ja niiden merkitys tulee kasvamaan entisestään. Valtaosa energia-alalla käytetyistä akuista käytetään sähköautoissa, mutta akut energiavarastona olivat vuonna 2023 markkinoiden nopeimmin kasvava energiateknologia. IEA arvioi, että nettonollaskenaariossa sähköautojen myyntiosuuden tulisi nousta nykyisestä 18 prosentista 65–70 prosenttiin vuonna 2030, eli 60 miljoonaan myytyyn sähköautoon per vuosi. Nettonollaskenaariossa myös energian varastointikapasiteetti tulisi kuusinkertaistaa vuoteen 2030 mennessä (saavuttaen 1500 GW), josta IEA arvioi akkujen osuuden kattavan 90 prosenttia (1200 GW). IEA on arvioinut, että jos ilmoitetut uudet akkujen tuotantolaitokset toteutuisivat täysimääräisesti, ne riittäisivät tyydyttämään nettonollaskenaarion kysynnän. Vähähiilisten toimitusketjujen skaalaaminen on kuitenkin valtava haaste.²⁵¹

Litiumioniakut hallitsevat tällä hetkellä akkumarkkinoita sekä energian varastoinnissa että sähköautojen akuissa, ja niiden oletetaan säilyttävän asemansa ainakin muutaman seuraavan vuosikymmenen ajan.²⁵² Johtavaa markkina-asetelmaa selittävät kustannusten merkittävä lasku (90 prosenttia vuodesta 2010), energiatheyden paraneminen sekä käyttöiän pidentyminen.²⁵³ Myös tätä tutkimusta varten haastatellut asiantuntijat arvelevat, että litiumioniakkujen suurelle tuoteperheelle ei ole näköpiirissä nopeaa korvaajaa, vaikka vaihtoehtoja tutkitaankin sekä Suomessa että maailmalla. Vaihtoehtojen akkujen, kuten natriumakkujen skaalaaminen laajaan

²⁵⁰ Rathi ym. 2025.

²⁵¹ IEA 2024a; 2024b.

²⁵² Carrara ym. 2023.

²⁵³ IEA 2024b.

käyttöön vie aikaa.²⁵⁴ Kuitenkin toukokuussa 2025 Kiina ilmoitti, että Yunnanin maakunnassa otettiin käyttöön kansallinen pilotti-hanke, joka on laajamittainen hybridi- eli litium-natriumakkujen energiavarastolaitos.²⁵⁵ Lisäksi kiinalainen Contemporary Amperex Technology (CATL) ilmoitti joulukuussa 2025, että se aikoo ottaa käyttöön natrium-ioniakkuteknologiansa useilla aloilla vuonna 2026.²⁵⁶

Litiumioniakku koostuu kahden elektrodin, anodin ja katodin, muodostamasta sähköparista. Niiden välissä on elektrolyytti, joka kuljettaa ioneja elektrodien välillä. Separaattori on puolestaan komponentti, joka pitää elektrodit erillään mutta sallii ionien liikkumisen niiden välillä.²⁵⁷ Katodit ja anodit voidaan valmistaa eri materiaaleista, mikä vaikuttaa akun suorituskykyyn. Näin ollen eri materiaaleja sovelletaan eri käyttötarkoituksiin. Sähköautoissa yleisimmät litium-ioniakkutyypit ovat litium-nikkeli-mangaani-kobolttiakut (NMC) sekä litium-rautafosfaattiakut (LFP), joiden lisäksi käytetään jonkin verran myös litium-nikkeli-koboltti-alumiiniakkuja (NCA). Yli puolet uusien sähköautojen akuista sisältää nikkeliä energiatihyden vuoksi (NMC, NCA), ja loput markkinoista koostuu LFP-akuista, joissa ei ole nikkeliä eikä kobolttia. Kobolttia on kuitenkin ollut vaikea poistaa kokonaan akuista, koska se vaikuttaa muun muassa akun vakautteen ja energiatihyteen. Kiinassa valmistetaan autoihin pääasiassa LFP-akkuja, kun taas Euroopan ja Yhdysvaltojen markkinoille ne ovat vasta hiljalleen leviämässä.²⁵⁸

Sähkövarastoina akkuja voidaan käyttää esimerkiksi lyhytkestoiseen kulutuksen ja tuotannon tasaamiseen vaihtelevien tuuli- ja aurinkoenergialähteiden rinnalla, ja niillä voidaan ylläpitää verkon vakautta ja toimitusvarmuutta tarjoamalla muun muassa taajuuden säätöä.²⁵⁹ Pidempikestoiseen, yli päivän kestäväan varastointiin eivät markkinoilla olevat akkuteknologiat sovellu. Energiavarastoina käytetään pääosin Kiinassa valmistettuja LFP-akkuja.²⁶⁰

254 Ks. IEA 2024b.

255 Shaw 2025.

256 Leung 2025; Morris 2026.

257 TEM 2021; myös Motiva 2024.

258 IEA 2024b.

259 Ks. lisää akuista energiavarastoina: IEA 2024b, 32–45.

260 Carrara ym. 2023; IEA 2024b.

2.4 Akkujen raaka-aineet ja ennakoitu kysyntä

EU:n Yhteisen tutkimuskeskuksen JRC:n (Joint Research Centre) analyysi nostaa esiin neljä litiumioniakkuihin tarvittavaa kriittistä raaka-ainetta sekä kuusi strategista raaka-ainetta, jotka on esitelty taulukossa 2. Kyseinen selvitys olettaa tulevien akkuteknologioiden hyödyntävän lisäksi entistä enemmän kriittisistä materiaaleista fluorisälpää elektrolyyttinä ja esimerkiksi niobia ja metallista piitä anodimateriaaleina. Koboltin kulutuksen akuissa ennakoidaan vähentyvän ja nikkelin puolestaan kasvavan. Lisäksi LFP-akut tulevat kilpailemaan fosfaateista lannoitetuotannon kanssa levitessään laajempaan käyttöön Kiinan ulkopuolella.²⁶¹

Esimerkiksi yhden Teslan Model 3 -sähköauton 55,4 kWh akun akkukennossa on noin 55 kilogrammaa grafiittia ja sen lisäksi noin 6 kilogrammaa litiumia, 42 kilogrammaa nikkeliä, 8 kilogrammaa kobolttia, vastaava määrä alumiinia ja 17 kilogrammaa kuparia.²⁶² Akut ovat sähköajoneuvojen tärkein komponentti, ja niiden osuus sähköajoneuvon kokonaiskustannuksista on noin 25–40 prosenttia. Raaka-aineet muodostavat noin 50–70 prosenttia akkujen valmistuksen lopullisista kustannuksista.²⁶³

Euroopan (kumulatiivisen) akkuvarastointikapasiteetin on arvioitu skenaariosta riippuen (ilmoitettujen politiikkatoimien skenaariossa ja ilmoitettujen sitoumusten skenaariossa) vaihtelevan 55 GW:n ja 86 GW:n välillä vuonna 2030 ja 211 GW:n ja 373 GW:n välillä vuonna 2050. Akkujen resurssitehokkuuden oletetaan kasvavan nykyiseen verrattuna molemmissa skenaarioissa. Nettonollaskenaariossa odotetaan 140 GW:n lisäkapasiteettia pelkästään vuonna 2030. Vuosittain myytyjen sähköautojen määrä olisi EU:ssa vuonna 2030 noin 7,5 miljoonaa (ilmoitettujen politiikkatoimien skenaariossa) tai noin 11 miljoonaa (ilmoitettujen sitoumusten skenaariossa) ja vuonna 2050 noin 12 miljoonaa (ilmoitettujen politiikkatoimien skenaariossa) tai noin 16 miljoonaa (ilmoitettujen sitoumusten skenaariossa).²⁶⁴

Raaka-aineiden nykyiseen kulutukseen verrattuna pelkästään sähköisen liikenteen akkuihin tarvittaisiin EU:ssa voimakkaan kysynnän skenaariossa jopa 15 kertaa enemmän litiumia, neljä kertaa enemmän kobolttia ja esimerkiksi noin kolme kertaa enemmän grafiittia vuonna 2030. Voimakkaan kysynnän skenaario kuvaa

²⁶¹ Carrara ym. 2023.

²⁶² Scheyder 2024.

²⁶³ Ragonnaud 2025.

²⁶⁴ Carrara ym. 2023.

Kriittinen raaka-aine	Kemiallinen merkki	Esimerkkejä käyttötarkoituksesta
Alumiini	Al	Kotelo; katodimateriaali NCA-akuissa; virrankeräin katodissa
Fosfori	P	Katodimateriaali LFP-akuissa
Niobi	Nb	Tulevaisuudessa yleistävä anodimateriaali
Metallinen pii	Si	Tulevaisuudessa yleistävä anodimateriaali
Strateginen raaka-aine	Kemiallinen merkki	Esimerkkejä käyttötarkoituksesta
Grafiitti	C	Litiumioniakkujen yleisin anodimateriaali
Koboltti	Co	Katodimateriaali LCO-, NCA- ja NMC-akuissa
Kupari	Cu	Virrankeräin anodissa
Litium	Li	Katodimateriaali LFP-, NMC-, NCA-akuissa; litiumsuolan muodossa elektrolyytinä
Mangaani	Mn	Katodimateriaali NMC- ja LMO-akuissa
Nikkeli	Ni	Katodimateriaali NMC- ja NCA-akuissa

tilannetta, jossa materiaalitehokkuus on alhainen ja päästövähennys-tavoitteet ovat korkeat, mikä johtaa teknologian laajamittaiseen käyttöönottoon ja näin ollen raaka-aineiden suureen kysyntään.²⁶⁵

Uudemmassa JRC:n arvioissa kaikissa akkusovelluksissa käytetävän litiumin kysynnän odotetaan kasvavan EU:ssa 12-kertaiseksi vuonna 2030 ja 21-kertaiseksi vuonna 2050 vuoteen 2020 verrattuna korkean kysynnän eli ilmoitettujen sitoumusten skenaariossa. Tämä tarkoittaisi, että akkuihin tarvittavan litiumin kysyntä nousisi vuoden 2020 4 981 tonnista 58 208 tonniin vuoteen 2030 mennessä ja 101 873 tonniin vuoteen 2050 mennessä. Vuonna 2050 litiumin maailmanlaajuinen kysyntä voisi tässä skenaariossa olla 19-kertainen ja grafiitin kysyntä yhdeksänkertainen nykyiseen tarjontaan verrattuna. Sen sijaan matalan kysynnän eli ilmoitettujen politiikkatoimien

Taulukko 2. Litiumioniakkujen kriittisiä ja strategisia raaka-aineita. Lähteet: Carrara ym. 2023; IEA 2024b).

²⁶⁵ Bobba ym. 2020.

skenaariossa akkuihin tarvittavan litiumin kysyntä nousisi 42 313 tonniin vuoteen 2030 mennessä ja 70 563 tonniin vuoteen 2050 mennessä.²⁶⁶

2.5 Akkujen keskittyneet tuotantoketjut

Akkuarvoketju koostuu yksinkertaistaen raakamateriaalin louhinnasta, raaka-aineiden jalostuksesta akkumateriaalien esiasteiksi, akkujen komponenttien valmistuksesta (katodi- ja anodimateriaalit, elektrolyytit yms.), akkukennojen valmistuksesta, käyttökohteisiin asentamisesta, mahdollisesta uusiokäytöstä eri kohteessa sekä lopulta akun kierrätyksestä.²⁶⁷ **Kiina erottuu suurimpana globaalina toimijana akkuarvoketjun kaikissa vaiheissa.**²⁶⁸ Raaka-aineiden louhinta on maantieteellisesti hajautuneempaa kuin muut vaiheet tuotannosta, mutta JRC:n analyysin mukaan materiaalien valmistuksesta 72 prosenttia, komponenttien valmistuksesta 67 prosenttia ja tuotteiden kokoamisesta 75 prosenttia tapahtuu Kiinassa.²⁶⁹ IEA on puolestaan arvioinut, että Kiinan osuus akkukennojen maailmanlaajuisesta valmistuskapasiteetista on lähes 85 prosenttia, Euroopan 7 prosenttia ja Yhdysvaltojen 6 prosenttia. IEA on arvioinut, että mikäli kaikki suunnitellut projektit akkujen tuotantokapasiteetin kasvattamiseksi toteutuvat, maailmanlaajuinen tuotantokapasiteetti nelinkertaistuu vuoteen 2030 mennessä, ja Kiinan rooli laskee 67 prosenttiin.²⁷⁰

Energiasiirtymän raaka-aineiden jalostus keskittyy yhä voimakkaammin Kiinaan.²⁷¹ Vuonna 2020 Kiinan osuus globaalista koboltin jalostuksesta oli 60 prosenttia, grafiitin 93 prosenttia, litiumin ja -lostuksesta 69 prosenttia, akkukäyttöön soveltuvan mangaanin tuotannosta 79 prosenttia ja nikkelisulfaatin tuotannosta 63 prosenttia.²⁷² IRENA arvioi vastaavasti, että Kiinan osuus koboltin jalostuksesta on 70 prosenttia ja litiumin ja mangaanin suhteen 60 prosenttia.²⁷³ IEA puolestaan arvioi, että noin 70 prosenttia litiumin, lähes 80 prosenttia koboltin ja noin 95 prosenttia grafiitin maailmanlaajuisesta jalostuksesta tapahtuu Kiinassa, ja Kiina hallitsee esimerkiksi koko

²⁶⁶ Carrara ym. 2023.

²⁶⁷ IEA 2024b.

²⁶⁸ Ks. Carrara ym. 2023, 20; IEA 2024b, 58.

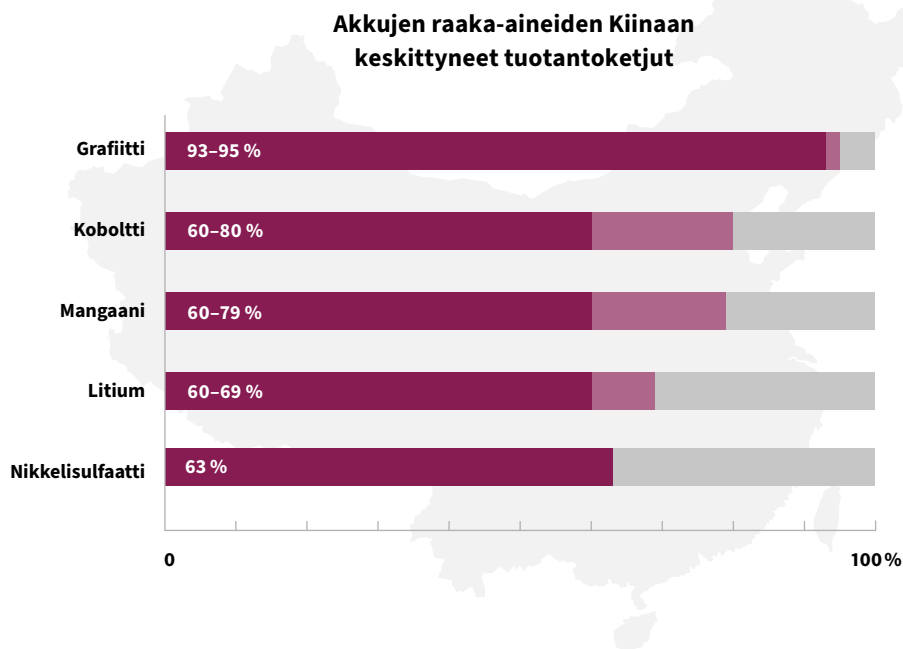
²⁶⁹ Carrara ym. 2023.

²⁷⁰ IEA 2024b.

²⁷¹ IEA 2025b.

²⁷² Carrara ym. 2023.

²⁷³ IRENA 2023.



grafiittianodin tuotantoketjua ja louhii 90 prosenttia maailman grafiittia.²⁷⁴ (Huom: yli 85 prosenttia akuista käyttää kuitenkin synteettistä grafiittia, joka valmistetaan öljykoksista. Kiina johtaa myös synteettisen grafiitin tuotantoa.²⁷⁵) Lisäksi IEA on huolissaan akkumetallien louhinnan maantieteellisestä keskittyneisyydestä, etenkin litiumin (noin 45 prosenttia Australiasta), koboltin (65 prosenttia Kongosta) ja nikkelin (55 prosenttia Indonesiasta) suhteen.²⁷⁶ IRENA mainitsee näiden lisäksi myös Chilen, jolla on hallitseva asema kuparin ja litiumin tuotannossa.²⁷⁷

Kiinan osuus globaalista tuotantokapasiteetista katodin aktiivimateriaalin kohdalla on 90 prosenttia ja anodin aktiivimateriaalin kohdalla 98 prosenttia.²⁷⁸ Tarkemmin tarkasteltuna NMC-katodeista keskimäärin 80 prosenttia ja LFP-katodeista 92 prosenttia sisältää Kiinan kautta kulkevia mineraaleja.²⁷⁹ Kiinan lisäksi Japanilla ja Etelä-Korealla on omat, pienemmät osuutensa anodi- ja katodimateriaalien tuotannossa.²⁸⁰ EU:ssa ja Yhdysvalloissa on vain vähän

Kuva 4. Kiinan arvioitu osuus energiasiirtymän raaka-aineiden jalostuksessa. Lähde: Carrara ym. 2023; IEA 2024b; 2025b; IRENA 2023.

²⁷⁴ IEA 2024b; 2025b; myös Escobar ym. 2025; Kalwasiński 2024.

²⁷⁵ Volta Foundation 2024.

²⁷⁶ IEA 2024b.

²⁷⁷ IRENA 2023.

²⁷⁸ IEA 2024b.

²⁷⁹ Cheng ym. 2024.

²⁸⁰ Carrara ym. 2023; IEA 2024b.

materiaalien tai komponenttien valmistusta. JRC kuvaa, että EU tuottaa noin 9 prosenttia NMC-aktiivimateriaaleista ja 14 prosenttia NCA-aktiivimateriaaleista ja että se on täysin tuontiriippuvainen anodiin ja muiden katodien aktiivimateriaaleissa.²⁸¹

EU:n suurimmaksi kriittisiin ja strategiaan raaka-aineisiin liittyväksi pullonkaulaksi JRC arvioi erityisesti litiumin ja grafiitin tuotannon, joita tarvitaan muun muassa litiumioniakuissa. Koboltin ja nikkelin jalostusta EU:ssa puolestaan on JRC:n mukaan jonkin verran: 8 prosenttia globaalista koboltin jalostuksen kapasiteetista vuonna 2020 ja nikkelistä 10 prosentin osuus globaalista kapasiteetista vuonna 2021. EU tuo litiumia pääsääntöisesti Chilestä, Australiasta ja Argentiinasta, mutta on avaamassa omia kaivoksia ja jalostuslaitoksia.²⁸² Euroopan komission julkaisu sen sijaan kuvaa, että EU tuo 79 prosenttia prosessoidusta litiumista Chilestä, 7 prosenttia Sveitsistä ja 6 prosenttia Argentiinasta²⁸³. Julkaisussa arvioidaan, että EU:ssa käsitellään ja jalostetaan 17 prosenttia koboltin maailmanlaajuisesta tarjonnasta Suomessa, Belgiassa ja Ranskassa sekä esimerkiksi 4 prosenttia nikkelistä Suomessa, Kreikassa ja Ranskassa. Alumiinin suurin yksittäinen toimittaja EU:hun on Guinea (63 prosenttia), fosforin kohdalla Kazakstan (65 prosenttia), piin kohdalla Norja (33 prosenttia), grafiitin kohdalla Kiina (40 prosenttia), kuparin kohdalla Puola (19 prosenttia), litiumin kohdalla Chile (79 prosenttia), mangaanin kohdalla Etelä-Afrikka (41 prosenttia) ja nikkelin kohdalla Venäjä (19 prosenttia). Koboltin kerrotaan tulevan pääosin Kongon demokraattisesta tasavallasta, mutta tarkemmat, luotettavat kauppätiedot puuttuvat.²⁸⁴ Suomen teollisuuden raaka-ainetarpeita kuvataan erikseen osiossa *Teollisuuden raaka-ainetarpeet*.

Vuonna 2023 **eurooppalainen akkutuotanto** riitti kattamaan lähes puolet Euroopan sähköautoissa ja energiavarastoinnissa käytettävien akkujen kysynnästä. Korealaiset yritykset vastaavat kolmesta neljäsosasta Euroopan tuotantokapasiteetista. 2024 toukokuun tietojen mukaan 30 gigatehdashanketta oli vireillä EU:ssa, ja niiden yhteenlaskettu kapasiteetti voi olla 1,3 TWh vuoteen 2030 mennessä. Huhtikuussa 2024 Euroopan komissio arveli, että ilmoitetut akkugigatehtaat voivat kattaa EU:n sähköautojen akkujen kysynnän (ja

281 Carrara ym. 2023.

282 Carrara ym. 2023.

283 Ks. myös JRC:n ylläpitämän raaka-ainetietojärjestelmän tiedot litiumista: JRC n.d.

284 European Commission 2023d.

enemmänkin) vuonna 2035, mutta tämä edellyttäisi rakennustahdin kiihdyttämistä.²⁸⁵

Akkukomponenttien (katodin ja anodin) tasolla on kuitenkin suurta tuontiriippuvuutta. Monet ilmoitetuista akkugigatehtaista ovat viivästyneet tai peruuntuneet. Esimerkiksi Northvoltin romahdus on herättänyt huolta akkuarvoketjun tulevaisuudesta Euroopassa.²⁸⁶ Euroopan osuus maailmanlaajuisista uusista akkuinvestoinneista laski vuoden 2021 41 prosentin tasosta vain 2 prosenttiin vuonna 2022.²⁸⁷ Kiinassa on puolestaan erään selvityksen mukaan ylikapasiteettia akkujen tuotantoketjun kaikissa vaiheissa, mikä voi johtaa samanlaiseen yritysten konsolidointiaaltoon kuin aurinkokennojen kohdalla kävi.²⁸⁸

2.5.1 Yritysten kotipaikat ja osakkeenomistajien määräysvalta

Tuotantoketjujen keskittyneisyys näyttää erilaiselta, jos sitä tarkastellaan **yritysten tasolla**. Kaivosteollisuutta hallitsevat muutamat suuret yritykset, jotka toimivat useassa maassa. Näin ollen kaivosten kehittämiseen vaadittava osaaminen ja resurssit ovat keskittyneet muutamille monikansallisille yhtiöille ja valtioiden omistamille tai valvomille yrityksille. Viisi suurinta kaivosyhtiötä hallitsevat 61 prosenttia litiumin tuotannosta ja 56 prosenttia koboltin tuotannosta.²⁸⁹ IEA:n mukaan kaivostuotannon kohdalla yhdysvaltalaisilla ja eurooppalaisilla yrityksillä on merkittävä rooli kuparin ja litiumin tuotannossa, siinä missä kiinalaisilla yrityksillä puolestaan on suurempi rooli nikkelin ja koboltin tuotannossa. Kiinalaiset yritykset louhivat nikkeliä Indonesiassa ja kobolttia Kongon demokraattisessa tasavallassa.²⁹⁰ **Mikäli tarkastellaan yritysten omistajuutta kaivosten sijainnin sijaan, vaikuttaa Kiinalla olevan yhä suurempi rooli kriittisten raaka-aineiden tuotannossa.**²⁹¹

Tarkemmin **kaivosalan yritysten kotipaikkaa ja osakkeenomistajien määräysvaltaa** tarkasteleva tutkimus osoittaa, että suurimpien **kobolttia** Kongon demokraattisessa tasavallassa louhivien yritysten kotipaikat ovat Isossa-Britanniassa ja Sveitsissä (Glencore ja Eurasian Natural Resources) sekä Kiinassa (China Molybdenum ja Metorex). Kongon demokraattisessa tasavallassa kotipaikkaansa pitävät yritykset tuottavat sen sijaan vain 3,5 prosenttia maailman koboltista.

285 Ragonnaud 2025.

286 Ragonnaud 2025.

287 T&E 2023.

288 Volta Foundation 2024.

289 IRENA 2023.

290 IEA 2024a.

291 Esim. Bian ym. 2024; IEA 2025b; Volta Foundation 2024.

Suurin kobolttia tuottava yritys maailmassa on Glencore, jonka osuus tuotannosta on 19,3 prosenttia. Eteläafrikkalainen Glasenbergin perhe on Glencoren suurin osakkeenomistaja. Sen sijaan osakkeenomistajien määräysvallan kautta kiinalaiset kattavat tiedossa olevista ja aktiivisista markkinoista noin 24 prosenttia. Myös Iso-Britanniaan sijoittuvalla, mutta todellisuudessa Kazakstanin valtion hallinnoimalla Eurasian Natural Resourcesilla on merkittävä 11,6 prosentin osuus maailman koboltin tuotannosta. Näin omistussuhteita tarkastellen voidaan siis tulkita, että koboltin suhteen kaksi suurinta toimijaa eivät ole Kongon demokraattinen tasavalta ja Venäjä, joissa kaivokset sijaitsevat, vaan Glasenbergin perhe ja Kiina.²⁹²

Kuparia tuottavien yritysten osakkeenomistajien määräysvalta ei ole vastaavalla tavalla keskittynyt kuin koboltin kohdalla. Kuparin tuotanto on maantieteellisesti hajautuneempaa. Chile on maailman suurin kuparin tuottaja, ja sen jälkeen Peru ja Kiina. Iso-Britanniaan rekisteröityneet yritykset ovat kuitenkin yhdessä suurimmat tuottajat, ja seuraavina ovat Chilessä, Yhdysvalloissa, Meksikossa ja Kiinassa rekisteröidyt yritykset. Kuitenkin koska Kiinalla on omistussuhteiden kautta valtaa useissa kaivosyhtiöissä (Metorex, Zijin, Rio Tinto, First Quantum ja Jiangxi), hallitsee se suurinta osaa, eli 11,2 prosenttia kuparituotannosta pienellä marginaalilla.²⁹³

Australiaan, Chileen ja Kiinaan sijoittuvat kaivokset tuottavat eniten **litiumia**. Kiinalaisilla toimijoilla on kuitenkin suurin valta yrityksissä (Talison Lithium ja Ganfeng Lithium), jotka tuottavat 33,1 prosenttia (20,5 + 12,6) kokonaismarkkinoista ja noin 50 prosenttia suuryritysten tuotannosta. Yhdysvalloilla on merkittävä asema, mutta sen vaikutusvalta toimii suurten passiivisten rahastojen kautta.²⁹⁴

Nikkelin suurimmat tuottajamaat ovat puolestaan Indonesia, Filippiinit ja Venäjä. Maat, joihin kaivosyritykset ovat rekisteröityneet, ovat kuitenkin huomattavasti näitä hajaantuneemmat lukuun ottamatta Filippiinien nikkelituotantoa, jossa filippiiniläinen yritys vastaa tuotannosta. Tarkemmin osakkeenomistajien valtaa tarkastellen nikkelin tuotannossa Kiinan rooli vaikuttaa Leruth ym. mukaan rajalliselta, mutta sijoitusrahastojen läsnäolo aiheuttaa riskin, että Kiina voisi helposti hankkia määräysvaltaa osakkeissa. Nikkeliä tuotavista yrityksistä Vale, Norilsk ja Glencore ovat sijoitusrahastojen ja teollisuusyritysten määräysvallassa, ja esimerkiksi BHP:n ja Anglo

292 Leruth ym. 2022; myös Bian ym. 2024.

293 Leruth ym. 2022.

294 Leruth ym. 2022.

Americanin johdossa merkittävää valtaa on sijoitusrahastoilla.²⁹⁵ IEA puolestaan kuvaa, että kiinalaiset yritykset – muun muassa Tsingshan Group ja Jiangsu Delong Nickel – omistavat yhteensä 65 prosenttia Indonesian nikkelin jalostuksesta, kun taas indonesialaiset yritykset vastaavat 10 prosentista maailman tuotannosta.²⁹⁶ Uutislähteiden mukaan Jiangsu Delong Nickel ajautui konkurssiin, ja sen nikkeliä tuottavat tytäryhtiöt Indonesiassa ovat vaihtaneet omistajaa tai kohdanneet tuotantovaikeuksia.²⁹⁷

Harvinaisten maametallien tuotantorakenne eroaa siinä mielessä muista raaka-aineista, että sekä niiden esiintymät että tuotanto ovat keskittyneet Kiinaan. Kiinan asema on siis merkittävä koko arvoketjun pituudella: vaikka jokin muu maa olisikin kiinnostunut harvinaisten maametallien tuotannosta, on se silti riippuvainen Kiinasta jossain kohtaa tuotantoketjua. Esimerkiksi länsimaiden suurimmaksi tuottajaksi itseään mainostava yhdysvaltalainen Mountain Pass myönsi vuonna 2020, että se tuottaa rikasteita, joita se sitten myy kiinalaisen yrityksen (Shenghe Resources Holding Co. Ltd.) Singaporeen rekisteröityneelle tytäryhtiölle.²⁹⁸

Taloudellisella ja poliittisella riippuvuudella on valtioiden lisäksi merkitystä yrityksille ja sijoittajille. Yritys tai valtio voi olla riippuvainen yksityisestä materiaalien toimittajasta tai toisesta valtiosta. Riippuvuutta valtioiden välillä voi muodostua sitä kautta, että valtiot voivat joko vaikuttaa kansalaistensa määräysvallassa oleviin yrityksiin tai rajoittaa yritysten toimintaa alueellaan. Yhdysvallat ja EU ovat keskenään samanlaisessa asemassa siinä mielessä, että yritysten hallussa olevat määräysvaltaosakkeet kuuluvat passiivisille rahastoille, joiden toimintaan maiden hallituksilla ei pääasiassa ole suoraa määräysvaltaa – jolleivät ne vetoa hätätilanteita varten laadittuun lainsäädäntöön, kuten *Defense Production Actiin* Yhdysvalloissa (kuten presidentti Trump teki maaliskuussa 2025²⁹⁹). Leruth ym. mukaan monissa maissa, kuten Kiinassa, kriittiset varannot ovat valtion omistuksessa tai valtioilla on määräysvalta mineraaleja tuottavissa yrityksissä.³⁰⁰ Tämän tutkimuksen eräs teollisuutta edustava haastateltava kuvasi, että Suomessa toimii Finnish Minerals Group Oy, joka on valtion omistama

295 Leruth ym. 2022.

296 IEA 2025b.

297 Spence & Cang 2025.

298 Leruth ym. 2022.

299 Ford 2025.

300 Leruth ym. 2022.

erityistehtäväyhtiö, joka mahdollistaa valtiolle alaan vaikuttamisen kaivosalan omistusten kautta.

Eteläkorealaiset yritykset sijoittavat enenevässä määrin **akkujen tuotantoon** kansainvälisesti: niillä on 350 Gwh edestä kapasiteettia Korean ulkopuolella, ja korealaiset yritykset hallitsevat suurinta osaa Euroopan akkujen tuotantokapasiteetista. Japanilla vastaava ulkomaille sijoittuvan tuotantokapasiteetin määrä on 55 Gwh ja Kiinalla 30 Gwh.³⁰¹ Kiinan investoinnit ulkomaisiin **kaivoksiin** – painottuen akkumetalleihin, kuten litiumiin, nikkeliin ja kobolttiin – ovat kasvaneet merkittävästi viimeisten kymmenen vuoden aikana.³⁰²

Kiinalaisten yritysten on arveltu muodostavan suurimman ulkomaisen sijoittajaryhmän akkualalla Suomessa.³⁰³ Useimmat tätä tutkimusta varten haastatellut henkilöt pitivät Kiinan suurta roolia puhtaan energiateknologian ja mineraalien arvoketjuissa ongelmallisena, mutta näkemykset Kiinan osallistumisesta hankkeisiin Suomessa vaihtelivat. Esimerkiksi muutamat teollisuuden edustajat totesivat, että kiinalaisten yritysten kanssa tehtäviin yhteistyöhankkeisiin ei liity ”minkäänlaista riskiä” erityisesti silloin, kun yhteistyö tapahtuu yhteisyritysten kautta ja vähemmistöomistajalla (kuten Finnish Minerals Group Oy:lla) on sovitut oikeudet. Muutamat haastateltavat totesivat, että ulkomaisille toimijoille ei ole vaihtoehtoja, sillä suomalainen omistus ja investoinnit mineraali- ja akkualalle ovat vähäisiä. Useat haastateltavat eri organisaatioista totesivat, että Suomeen sijoittuvissa hankkeissa tarvitaan kiinalaisia kumppaneita, koska heillä on tarvittava osaaminen, joka muilta puuttuu. Toiset, kuten yksittäiset GTK:n, VTT:n ja Sitran asiantuntijat, suhtautuivat kiinalaiseen omistukseen varauksellisemmin. Suomen mineraalisektoria ja akkusektoria kuvataan lisää osiossa *Suomen kaivosteollisuus ja akkuklusteri*.

2.6 Heilahtelevat raaka-ainemarkkinat ja tuleva tarjonta

Mineraalimarkkinat ovat pienet ja vaikeaselkoiset. Järjestäytyneet markkinat, joilla käytäisiin kauppaa yhden mineraalin kaikilla muodoilla puuttuvat, minkä vuoksi tuotantoa ja kauppavirtoja on vaikea jäljittää.³⁰⁴ Ylipäätään kattavaa tietokantaa kaikista maailman

301 IEA 2024b.

302 IEA 2024a.

303 Sinkkonen & Siddi 2024; ks. myös osio *Suomen Kaivosteollisuus ja akkuklusteri*.

304 Majkut ym. 2023.

kaivoksista ja niiden tuotannosta ei ole saatavilla.³⁰⁵ Raaka-aineiden hinnat ovat ailahtelevaiset, ja niistä on tullut vaikeammin ennakoitavia myös vallitsevan geopolitiittisen tilanteen myötä.³⁰⁶ Mineraalien hinnoittelun avoimuuden puute lisää osaltaan markkinoiden epävarmuutta. Metallien hinnat määräytyvät joko pörsseissä, kuten nikkelin, kuparin ja alumiinin kohdalla, tai kahdenvälisissä sopimuksissa, joita hintaselvityslaitokset pyrkivät selvittämään ja raportoimaan, kuten litiumin, koboltin ja grafiitin kohdalla.³⁰⁷ Hintojen vähäinen avoimuus ja kriittisten mineraalimarkkinoiden vajavainen likviditeetti voivat vaikuttaa investointipäätöksiin ja pitää yksityisen pääoman sivussa. Myös malmilaatujen heikkeneminen, kierrätysyritysten syntyminen ja jatkuvat akkuteknologian innovaatiot voivat vähentää sijoittajien halua investoida kysyntäennusteiden pohjalta. Mineraalimarkkinoiden epävarmuuden on arveltu suosivan valtion tukemien yritysten toimimista alalla verrattuna kansainvälisiin yksityisiin yrityksiin.³⁰⁸ On viitteitä siitä, että epävarmuuksien vuoksi akkuvalmistajat ovat alkaneet vahvistaa kumppanuuksia tuotantoketjun alkupään toimittajien kanssa ja myös investoimaan suoraan mineraalien louhintaan.³⁰⁹

Tämän vuosikymmenen loppupuolelle ennakoidaan **ennätyshintoja kuparille**.³¹⁰ Ennakoidusta valtavasta kuparitarpeesta huolimatta kaivosyritykset eivät ole kohdistaneet voittojaan uusien kuparihankkeiden edistämiseen. Sen sijaan ne ovat suosineet lyhyellä aikavälillä voittoisampia toimia, kuten kaivosten laajentamista. Samaan aikaan uudet löydöt ovat usein heikkolaatuisempia, mikä nostaa louhinnan kustannuksia. Erään arvion mukaan vuonna 2035 maailmassa on skenaariosta riippuen 1,6–9,9 miljoonaa tonnia liian vähän kuparia.³¹¹ **Nikkelin** hinta on puolestaan pääasiassa Indonesian ja Kiinan lisäntyneen tuotannon vuoksi jatkanut laskuaan viime vuosina, mutta sen oletetaan pysyvän verrattain korkealla energiasiirtymän vuoksi ja erityisesti sähköautojen kasvavan tuotannon myötä.³¹² Suurin osa nikkelistä menee ruostumattoman teräksen tuotantoon, ja sen tarvetta akuissa on onnistuttu teknologisen kehityksen avulla vähentämään.³¹³

305 Maus & Werner 2024; myös ICMM 2025.

306 Vasara ym. 2023.

307 IEA 2024a.

308 Majkut ym. 2023.

309 Escobar ym. 2025.

310 Moors & Keen 2022.

311 Ks. Keen ym. 2022.

312 Vasara ym. 2023.

313 Volta Foundation 2024.

Koboltin tuotanto on lisääntynyt Kongon demokraattisessa tasavallassa, mikä aiheuttaa hintapaineita alaspäin lisääntyneestä kulutuksesta huolimatta. Vuonna 2023 koboltin kulutus kasvoi hi-
taammin (8 prosenttia) kuin globaali koboltin tuotanto (24 prosenttia). Koboltin tarve on vähentynyt erityisesti Kiinassa, mutta myös muualla maailmassa, kun vähemmän kobolttia tarvitsevat akut (esim. LFP) yleistyvät markkinoilla.³¹⁴ Akkujen keskimääräinen koboltti-intensi-
teetti on laskenut kahdella kolmanneksella viidessä vuodessa. Lähes kaikki koboltti louhitaan nikkelin tai kuparin sivutuotteena, eli kai-
vokset jatkavat koboltin tuotantoa sen alhaisesta hinnasta huolimatta niin kauan kuin nikkeli- ja kuparimarkkinat kannustavat siihen.³¹⁵

Litiumin markkinat ovat olleet viime vuosina epävakait, ja hinnat ovat laskeneet kesää 2024 kohti.³¹⁶ Kuitenkin tätä ennen litiumkarbonaatin hinta nousi kymmenkertaiseksi parin vuo-
den aikana (2021–2022).³¹⁷ Esimerkiksi Albemarle, yksi maailman suurimmista litiumin tuottajista, on vaatinut kannustavampaa hin-
noittelua litiuminmarkkinoille, jottei energiasiirtymä hidastuisi. Yhtiön toimitusjohtaja on todennut, että nykyisillä hinnoilla uudet greenfield-hankkeet erityisesti lännessä eivät ole kannattavia.³¹⁸ Yh-
dysvaltojen hallitus on syyttänyt Kiinaa litiumin hinnan polkemisesta kilpailevien tuottajien ajamiseksi pois markkinoilta.³¹⁹ Akuissa käy-
tettävän **grafiitin** markkinat ovat puolestaan kasvaneet 250 prosenttia viimeisten viiden vuoden aikana.³²⁰ **Mangaanin** kysynnän odotetaan voimakkaasti kasvavan akuissa.³²¹

IEA tulkitsee, että **energiasiirtymän materiaalien hinnanlasku on kaksiteräinen miekka**: toisaalta se vauhdittaa puhtaan energian käyt-
töönottoa (esim. akkujen hinta laski 14 prosenttia vuonna 2023), mutta samalla hidastaa investointeja kriittisiin mineraaleihin ja si-
ten myös tuotantoketjujen monipuolistamista.³²² Vaikka mineraalien laskevat hinnat ovatkin vaikuttaneet mineraaliklusteriin tehtäviin investointeihin niitä vähentäen, investointien määrä on silti koko-
naisuudessaan edelleen kasvussa (esim. 10 prosenttia vuonna 2023

314 Vasara ym. 2023.

315 Volta Foundation 2024.

316 Vasara ym. 2023.

317 Escobar ym. 2025.

318 Fastmarkets 2024.

319 Goncalves 2024.

320 Benson & Denamiel 2023.

321 Volta Foundation 2024.

322 IEA 2024c: 2025b.

kaivostoimintaan).³²³ Investointien kasvu vuonna 2024 oli kuitenkin vain 5 prosenttia – ja kustannusinflaatiolla korjattuna investointien reaalikasvu oli 2 prosenttia verrattuna vuoden 2023 14 prosentin kasvuun.³²⁴ Eniten hintojen lasku on vaikuttanut negatiivisesti uusiin toimijoihin, jotka olisivat monipuolistaneet tuotantoaan suurimpien tuottajamaiden ulkopuolelle.³²⁵ Tarvittaisiin noin 800 miljardin Yhdysvaltain dollarin investoinnit kaivostoimintaan vuoteen 2040 mennessä, jotta 1,5 °C:n lämpenemispolulla pysyttäisiin.³²⁶ Vuonna 2022 kriittisten raaka-aineiden käyttö kanavoitui pääosin edelleen muihin kuin energiasiirtymän teknologioihin, lukuun ottamatta litiumia. IRENA kuitenkin ennakoii, että joissakin materiaaleissa, kuten koboltin, grafiitin ja dysprosiumin kohdalla, tilanne voi muuttua niin, että niiden käyttö energiateknologioissa ajaa muun käytön ohi.³²⁷

Tuotantoketjujen monipuolistamisen pyrkimyksistä huolimatta IEA siis arvioi, että **tilanne ei muutu** merkittävästi litiumin, nikkelin, koboltin, grafiitin eikä harvinaisten maametallien suhteen vuoteen 2030 mennessä, sillä suurin osa niiden tarjonnan arvioidusta kasvusta tulee nykyisistä suurimmista tuottajamaista. Ilmoitettujen hankkeiden perusteella jalostettujen materiaalien tuotanto jatkaa keskittymistään muutamaa maahan, etenkin nikkelin ja koboltin suhteen.³²⁸ **Keskittymisen tekee toimitusketjuista alttiimpia häiriöille, johtuivat ne sitten sään ääri-ilmiöistä tai geotaloudellisesta kiistelistä.** Mineraalihyödykkeiden tuotantoketjut ovat monimutkaiset, eikä niistä ole saatavilla täysin läpinäkyvästi tietoa, mikä vaikeuttaa tuotantoketjujen haavoittuvuuden arviointia.³²⁹

Tietyt metallit esiintyvät maaperässä yhdessä fyysisten ja kemiallisten piirteidensä vuoksi, ja tällä on vaikutuksia raaka-aineiden hallintaan. Vaikka joitain tiettyjä metalleja pidettäisiinkin strategisina tai kriittisinä poliittisesta näkökulmasta, niiden kasvava kysyntä ei välttämättä johda tarjonnan kasvuun, jos niitä ei voida louhia yksittäin. Toisaalta rinnakkais- ja sivutuotteiden tuotanto voi auttaa ylläpitämään kaivostoiminnan kannattavuutta. Rinnakkaistuotteet ovat metalleja, joita tuotetaan yhdessä ja jotka ovat suunnilleen yhtä arvokkaita keskenään. Sivutuotteet ovat sen sijaan aineita, joka tuotetaan toissijaisesti tai oheistuotteena pääasiallisen kaivannaisaineen

323 IEA 2024a.

324 IEA 2025b.

325 IEA 2024c.

326 IEA 2024a; myös Volta Foundation 2024.

327 IRENA 2023.

328 IEA 2024a.

329 IRENA 2023.

louhinnan ja käsittelyn yhteydessä. Kukin rinnakkaistuote vaikuttaa kaivospäätöksiin ja investointeihin, kun taas sivutuotteen arvo on yleensä liian alhainen, jotta sillä olisi vaikutusta kaivostoimintaa koskeviin päätöksiin. Tilanne johtaa siihen, että jos rinnakkaistuotteena tuotettuun metalliin, kuten lyijyyn, kohdistuisi käyttörajoituksia, ei sen kanssa tuotettua rinnakkaistuotetta, kuten lyijyn tapauksessa sinkkiä, välttämättä ole enää kannattavaa tuottaa. Toisena esimerkkinä voidaan pitää telleriumia, jota tarvitaan aurinkopaneelisiin. Sitä tuotetaan kuparin sivutuotteena, joten kuparin markkinat vaikuttavat suoraan telleriumin saatavuuteen. Rinnakkais- ja sivutuotteiden hinnat voivat vaihdella voimakkaasti: esimerkiksi viimeisten 50 vuoden aikana sivutuotteiden vuosittainen hintavaihtelu oli keskimäärin 50 prosenttia suurempaa kuin päämetallien.³³⁰

2.6.1 Raaka-aineiden riittävyys

Tämän tutkimuksen haastateltavilla oli vaihtelevia näkemyksiä siitä, miten energiasiirtymälle kriittisten raaka-aineiden kysyntä ja tarjonta kohtaavat toisensa. Vaikka useimmat olivat yhtä mieltä siitä, että maankuoressa on riittävästi mineraaleja, useat asiantuntijat (VTT:ltä, GTK:lta, TEM:stä ja yliopistoista) huomauttivat myös, ettei kaikkia esiintymiä ole kannattavaa louhia tai ne sijaitsevat alueilla, joilla louhinta ei ole hyväksyttävää tai oikeudenmukaista (esim. luonnon-suojelualueet tai alkuperäisväestöjen asuinalueet). Parhaat varannot on jo käytetty, ja huonompilaatuisen malmin louhinta ja jalostus aiheuttaa suurempia ympäristövaikutuksia esimerkiksi suuremman energiankulutuksen vuoksi. Lisäksi haasteena ei ole pelkästään louhinnan määrä vaan myös jalostuskapasiteetin puute esimerkiksi litiumin kohdalla.

Useimmat haastatelluista pitivät raaka-aineiden oikea-aikaista ja riittävää tarjontaa ilmastomuutoksen hillinnän näkökulmasta haasteellisena. Esimerkiksi eräs GTK:n edustaja kuvaili, että raaka-aineiden riittävyys on ”nimenomaan ilmastopoliittinen kysymys” ja että raaka-aineiden saatavuus on merkittävä pullonkaula ilmastomuutoksen hillinnän vaatimassa aikataulussa. Eräs teollisuuden edustaja arveli, että energiasiirtymä tulee tapahtumaan, koska tavoitteisiin pyritään laajasti (esim. teollisuudessa), mutta aikataulu voi olla hitaampi kuin kuvitellaan. Teollisuuden edustaja ja muutama asiantuntija (GTK:sta ja Sitrasta) uskoivat ”markkinatalouteen ja sen kykyyn ratkaista

330 Bellois & Ramdoo 2023.

niukkuusongelmat” korvaavilla materiaaleilla, mutta ilmaisivat silti huolensa kyvystä pysyä vaaditussa aikataulussa.

Monet haastateltavat olivat huolissaan siitä, että **päättäjät eivät ole tietoisia energiamurroksen mahdollisesta materiaalisesta pulonkaulasta**. Yksi GTK:n asiantuntijoista kuvaili, että suomalaisen teollisuuden raaka-ainetarpeet ovat epäselviä, ja eräs teollisuuden edustaja toivoi myös parempaa strategista tilannekuvaa siitä, mitkä mineraalitarpeet liittyvät konkreettisiin tavoitteisiin. Mineraali-strategiassa onkin yhtenä toimenpiteenä ehdotettu skenaariotyötä tulevaisuuden teknologioista ja raaka-ainetarpeista.³³¹ Lisäksi eräät haastateltavat (GTK, Sitra, Syke, TEM) varoittivat, että kriittisillä materiaaleilla on **kilpailevia käyttötarkoituksia**. Jotkut totesivat, että esimerkiksi sotateollisuus kilpailee samoista raaka-aineista kuin vihreä siirtymä ja digitalisaatio.³³²

Asiantuntijahaastatteluissa ilmeni, että **raaka-aineiden saatavuuden arviointia vaikeuttaa** se, että noin puolta EU:n kriittisten materiaalien listan raaka-aineista koskee niin sanottu **sivutuote-ongelma**, eli ne eivät ole kaivosten päätuotteita. Esimerkiksi sähköautojen akkuihin tarvittava koboltti on kupari- ja nikkelikäivosten sivutuote. Maailmassa on vain yksi kaivos (Marokossa), jossa koboltti on päätuote. Käytännössä sivutuoteongelma tarkoittaa sitä, että myös päätuotteelle on oltava markkinaa, jotta kaivos olisi kannattava, kuvaili eräs haastateltavista. Sivutuotteen talteenottokin voi olla monimutkainen prosessi, jonka taitavat vain muutamat metallinjalostajat. Monien sivutuotteiden, kuten aurinkopaneeleissa tarvittavien galliumin, germaniumin ja indiumin, maailmankauppa ei ole läpinäkyvää eikä ole varmaa tietoa siitä, paljonko niitä otetaan maailmassa talteen (Ks. myös osio *Heilahtelevat raaka-ainemarkkinat*).

Vaikka Yhdysvalloissa ja EU:ssa ilmoitetut kapasiteetin lisäykset **akkukennojen** valmistuksessa voivatkin riittää kattamaan vuoden 2030 käyttöönottotarpeet, niin **maailmanlaajuisesti monen niihin ja muihin energiateknologioihin tarvittavien kriittisten materiaalien tuleva kysyntä voi ylittää tarjonnan**.³³³ IEA:n, Yhdysvaltain geologisen tutkimuslaitoksen ja GlobalData-yrityksen tietoja yhdistävän tarkastelun perusteella ainakin kuparin, nikkelin, kobolttin ja litiumin tuotanto ei pysy kysynnän tahdissa vuoteen 2030 mennessä IEA:n kestävän kehityksen skenaariossa. Suurin pula koskisi kobolttia, jonka

331 TEM 2024a.

332 Ks. myös Bobba ym. 2020.

333 IEA 2024c; myös Carrara ym. 2023.

tuotantoennusteet kattavat vain puolet maailmanlaajuisesta kysynnästä. Litiumin tuotanto voi riittää energia-alan kysyntään, mutta ei muuhun.³³⁴ Kriittisempien arvioiden mukaan esimerkiksi grafiitin kysyntä Yhdysvalloissa ja EU:ssa ylittää todennäköisesti tarjonnan selvästi vuonna 2030.³³⁵ Myös kuparin tarve uhkaa ylittää tarjonnan ensi vuosikymmenen aikana, ellei uusia kaivoksia perusteta nopeasti. Etenkin Aasiassa sulatot ovat lisäämässä kapasiteettiaan, mikä tulee näkymään kuparirikastemarkkinoilla huomattavana vajauksena.³³⁶ Jotta kuparin tuotanto vastaisi nettonollaskenaarion kysyntään, tulisi vuoteen 2040 mennessä investoida noin 500 miljardia Yhdysvaltain dollaria lisää.³³⁷ JRC arvelee **litiumin, koboltin, mangaanin ja nikkelin** tunnettujen ja suunniteltujen kaivoshankkeiden perusteella, että litiumioniakkujen kysyntä ylittää potentiaalisen tarjonnan vuosien 2029–2030 jälkeen, ellei riittäviä investointeja tehdä ajoissa. Harvinaisten maametallien tarjonta ei myöskään riitä vastaamaan maailmanlaajuisen kysyntään, ellei uusia tuotantohankkeita toteuteta.³³⁸

Tuoreimmassa IEA:n ennusteessa **tarjonnan ja kysynnän suhde vuonna 2035 vaikuttaa parantuneen**: nikkelin, koboltin, grafiitin ja harvinaisten maametallien osalta tarjonta voi riittää kattamaan ennustetun kysynnän kasvun ilmoitettujen politiikkatoimien skenaariossa (STEPS), jos suunnitellut hankkeet toteutuvat. Sen sijaan **kupari ja litium herättävät huolta**: kuparissa voi olla 30 prosentin tarjonnan vaje ja litiumissa 40 prosentin vaje vuonna 2035. Kokonaiskuva ei kuitenkaan näytä aivan yhtä hyvältä, jos tarkastellaan vain niitä hankkeita, jotka kaikista varmimmin toteutuvat ja jätetään pois ne, joilta puuttuu vielä rahoitusta ja toimintaan tarvittavia lupia. Tällöin nikkelin tuotanto pystyy vastaamaan 85 prosenttiin kysyntään, koboltin tuotanto 86 prosenttiin ja grafiitin tuotanto 89 prosenttiin STEPS-skenaariossa vuonna 2035. STEPS-skenaariossa kaivostoiminta vaatii noin 500 miljardin Yhdysvaltain dollarin pääomasijoitukset vuoteen 2040 mennessä, ja ilmoitettujen sitoumusten skenaariossa (APS) 600 miljardia Yhdysvaltain dollaria samana ajanjaksona. ASP-skenaariossa oletetaan, että hallitukset täyttävät kokonaisuudessaan ja ajallaan kaikki ilmoittamansa ilmastositoumukset.³³⁹

334 van Halm ym. 2023.

335 Ks. Patel 2024.

336 Vasara ym. 2023.

337 IEA 2024a.

338 Carrara ym. 2023.

339 IEA 2025b.

2.7 Ilmastomuutoksen vaikutukset tuotantoon

Kaivosten vaikutuksia ja haavoittuvuuksia arvioitaessa on tärkeää huomioida, että globaali **kaivostoimintaa koskeva tietopohja on edelleen epätäydellinen**. Monista kohteista on tarjolla vain rajallisesti julkista informaatiota, eivätkä kaikki kaivokset, erityisesti pienimuotoiset, epäviralliset tai historialliset kaivokset, sisälly kattavasti olemassa oleviin tietokantoihin tai tutkimuksiin. Lisäksi kaivosten sijaintiin perustuvat analyysit eivät aina pysty erottamaan toiminnan mittakavaa, tuotantotapaa tai sivukivien ja jätteiden aiheuttamia vaikutuksia eikä niiden haavoittuvuutta suorille ilmastovaikutuksille. Usein tietopohja infrastruktuuriverkostoista, joista kaivokset ovat riippuvaisia, on myös puutteellista. Lisäksi perustiedot ja mallinnukset kaivoksia ympäröivästä biodiversiteetistä, valuma-alueen hydrologiasta ja veden laadun pitkän aikavälin kehityssuunnista ovat usein vajavaisia, mikä vaikeuttaa kaivosten haavoittuvuuden arviointia.³⁴⁰

Ilmastomuutos haastaa **suorien vaikutusten** kautta kaikki yhteiskunnan alat, myös kaivosalan ja siihen liittyvän logistiikan. Joidenkin arvioiden mukaan erilaisten sään ääri-ilmiöiden vaikutukset *Euroopassa* sijaitsevalle kaivostoiminnalle ja metallienjalostukselle ovat pienet, lukuun ottamatta tulvien ja myrskyjen vaikutuksia.³⁴¹ Ongelmallisinta lieneekin ennen kaikkea Euroopan suuri tuontiriippuvuus sellaisilta alueilta, joilla ilmastomuutoksen suorat vaikutukset iskevät voimallisemmin. Äärimmäiset sääilmiöt, kuten tulvat, maastopalot ja myrskyt ja niihin liittyvät maanvyörymät, voivat vahingoittaa infrastruktuuria, sulkea avolouhoksia ja vahingoittaa rikastushiekka-altaita. Helteet voivat vaikuttaa työntekijöiden turvallisuuteen ja laitteiden suorituskykyyn. Arktisilla alueilla (esim. Venäjällä ja Kanadassa) ikeiroudan sulaminen horjuttaa maaperää infrastruktuurin alla, mikä voi aiheuttaa riskejä kaivoksille ja logistiikalle. Ilmastovaikutukset voivat myös haitata kasvillisuuden palauttamista ja kunnostustoimia suljetuilla kaivosalueilla, etenkin tulevaisuudessa, kun ilmastomuutos etenee.³⁴² Äärimmäinen kuumuus voi myös häiritä tuotantotoimintaa silloin kun jäähdytykseen tarvittavan sähkön kysynnän piikit rasittavat sähköverkkoja.³⁴³ Useimmat kaivos- ja malminetsintäryitykset kuitenkin asettavat

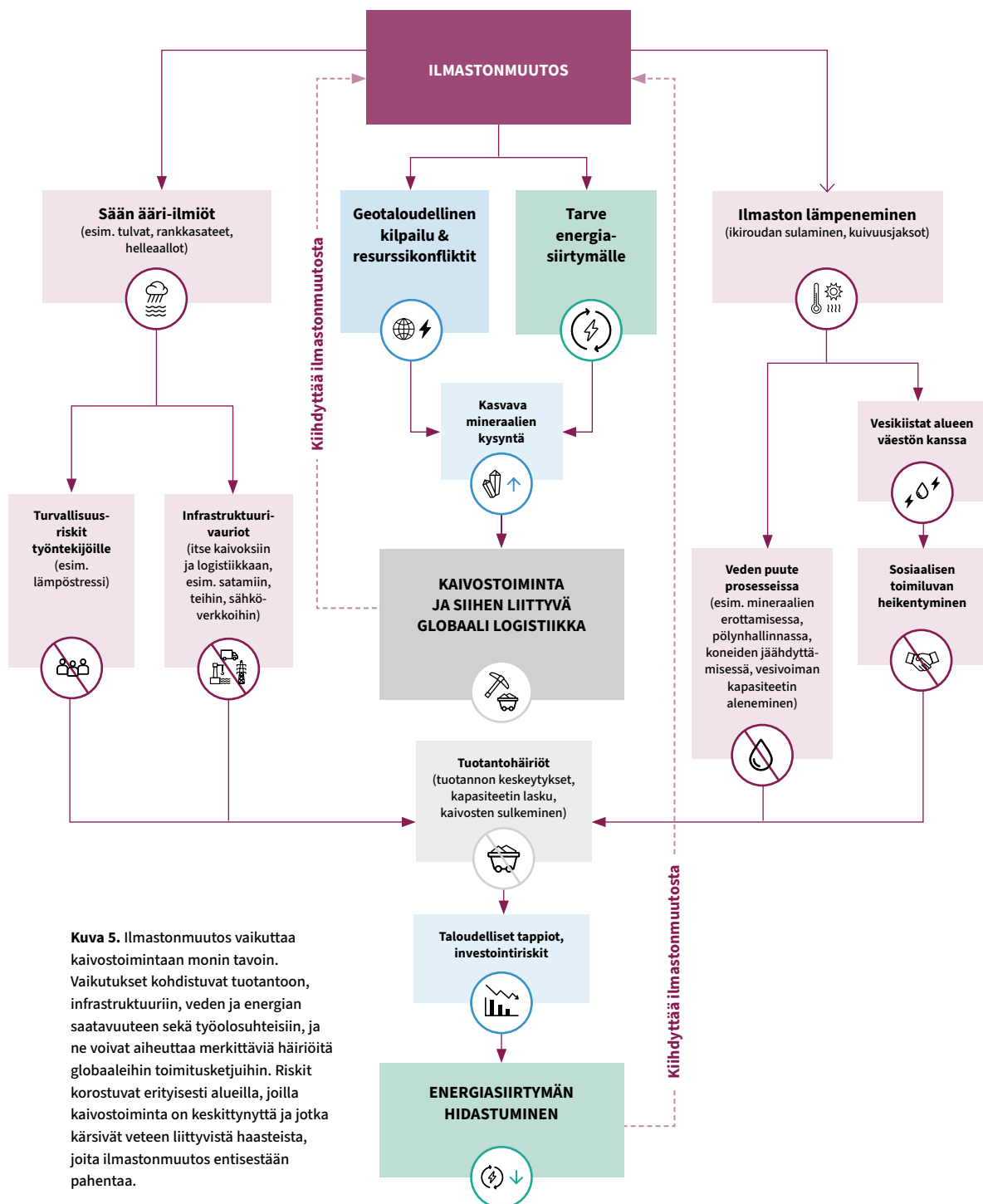
340 Esim. Maus & Werner 2024; Savige ym. 2025.

341 Ks. EEA 2024a.

342 Esim. Hodgkinson ym. 2010; Irrarázabal 2006; Mason ym. 2013; Qarahasanlou ym. 2024; Rüttinger ym. 2020; UNEP 2024.

343 EEA 2024a.

Ilmastovaikutuksia yhteenkokoava vaikutusketjukaavio



Kuva 5. Ilmastomuutos vaikuttaa kaivostoimintaan monin tavoin. Vaikutukset kohdistuvat tuotantoon, infrastruktuuriin, veden ja energian saatavuuteen sekä työolosuhteisiin, ja ne voivat aiheuttaa merkittäviä häiriöitä globaaleihin toimitusketjuihin. Riskit korostuvat erityisesti alueilla, joilla kaivostoiminta on keskittynyttä ja jotka kärsivät veteen liittyvistä haasteista, joita ilmastomuutos entisestään pahentaa.

etusijalle kaivostoiminnan päästöjen hillinnän äärimmäisiin sääilmiöihin sopeutumisen sijaan.³⁴⁴ Konsulttiyritys PwC:n mukaan 35 prosenttia kaivosteollisuuden toimitusjohtajista kuitenkin ilmoitti, että heidän yrityksensä ovat erittäin tai äärimmäisen alttiita ilmastoriskeille seuraavien viiden vuoden aikana.³⁴⁵

Yhtä poikkeusta lukuun ottamatta kaikki tätä tutkimusta varten haastatelluista asiantuntijoista arvelivat, että ilmastonmuutos vaikuttaa kaivosteollisuuden toimintaan. Vaikutusten kuvailtiin olevan moninaisia ja paikoittain jo näkyvissä, erityisesti veden saatavuuden ja sään ääri-ilmiöiden osalta. Useat haastateltavat korostivat, että kuivuus, tulvat ja äärimmäiset lämpötilat aiheuttavat tuotannollisia ja taloudellisia haasteita eri puolilla maailmaa, kuten Chilessä ja Australiassa, mutta erityisesti tulviminen on aiheuttanut huolta myös Suomessa. Veden niukkeneminen korostaa sen roolia kriittisenä resurssina, mistä voi seurata kilpailua paikallisyhteisöjen, kuten alkuperäiskansojen ja maatalouden, kanssa. Veden kierrätys tarjoaa ratkaisua, mutta tuo mukanaan energiantensiivisyyden haasteita, kuvaili eräs tutkija. Logistiikka, energiantuotanto ja työskentelyolosuhteet – erityisesti avolouhoksissa – joutuvat sopeutumaan muuttuviin olosuhteisiin. Eräs haastateltava muistutti, että jossain tapauksissa kaivokset ovat jo sopeutuneet hyvin kuiviin olosuhteisiin esimerkiksi Australiassa ja Chilessä. Ilmastonmuutoksen nähtiin vaikuttavan kaivosalaan epäsuorasti lisäämällä uusiutuvien energiateknologioiden ja sitä kautta myös niiden raaka-aineiden kysyntää. Teknologian soveltuvuus uusiin olosuhteisiin sekä kestävien prosessien kehittäminen nousivat esiin keskeisinä vaatimuksina, jotka asettavat paineita koko toimialan uudistumiselle.

Esimerkiksi syyskuussa 2024 hurrikaani Helene pysäytti puoli-johteissa ja aurinkopaneeleissa tarvittavan erittäin puhtaan kvartsin tuotannon ja kuljetuksen Spruce Pinessa, Pohjois-Carolinassa, joka on yksi harvoista paikoista maailmassa, jossa tällaista kvartsia tuotetaan.³⁴⁶ Vuonna 2022 Kiinan Sichuanin maakunnassa jouduttiin pahan helleaallon ja vakavan kuivuuden vuoksi säännöstelemään alueen teollisuuden sähkönkulutusta, joka oli riippuvainen vesivoimasta. Tehtaat määrättiin sulkemaan toimintansa kuudeksi päiväksi. Sichuan on elektroniikkateollisuuden lisäksi myös litiumin ja akkujen tuotantokeskus. Erään arvion mukaan rajoitukset vähensivät elokuun litiumkarbonaatin tuotantoa 1 250 tonnia ja litiumhydroksidin

344 Qarahasanlou ym. 2024.

345 PwC 2023.

346 Brumfiel ym. 2024.

tuotantoa 3 050 tonnia, mikä vastaa 4 prosenttia ja 14 prosenttia Kiinan litiumkarbonaatin ja litiumhydroksidin kokonaistuotannosta elokuussa.³⁴⁷ Vuonna 2023 Liaoningin alueella jouduttiin keskeyttämään 116 kaivoksen toiminta rankkasateiden ja tulvien vuoksi.³⁴⁸

Etelä-Afrikan kaivosteollisuus kärsi vakavasta kuivuudesta vuosina 2015–2017, jolloin vesipula johti kaivosten sulkemiseen, tuottavuuden laskuun ja taloudellisiin menetyksiin.³⁴⁹ Viimeisen vuosikymmenen aikana runsas sademäärä on aiheuttanut yli 1,5 miljardin euron arvoiset tappiot Australian kuparikaivoksille, ja ilman sopeutumistoimenpiteitä alan on arvioitu menettävän vuoteen 2050 mennessä pelkästään rankkasateiden vuoksi yli 4,2 miljardia euroa, mikä vastaa 50 000 tonnia kuparia.³⁵⁰ Kaivosteollisuus ilmoitti kohdanneensa yli 20 miljardin Yhdysvaltain dollarin taloudelliset kustannukset (esim. oikeudenkäynneistä, saastuneen ympäristön puhdistuksesta, investoinneista suolanpoistolaitoksiin) vesiriskien realisoitumisesta pelkästään vuonna 2018.³⁵¹ Vuonna 2021 venäläinen kaivosyhtiö Norilsk Nickel (ks. myös osio *Venäjän hyökkäyssota ja mineraalikauppa*) joutui keskeyttämään toimintansa kahdessa kaivoksessaan sulaneen ikeiroudan aiheuttamien tulvien vuoksi. Kaivokset vastasivat 36 prosentista yhtiön Venäjällä louhimasta malmista. Nikkelin, kuparin, palladiumin ja platinan tuotanto väheni väliaikaisen sulkemisen vuoksi 7 prosenttia näissä kaivoksissa.³⁵²

Viittä tuottajamaata (Australiaa, Chileä, Kanadaa, Indonesiaa, Etelä-Afrikkaa) ja yhdeksää raaka-ainetta (joista kaikki eivät ole EU:n kriittisiksi tai strategisiksi luokittelemia) arvioineessa selvityksessä havaittiin, että erityisesti tinan, bauksiitin, kuparin ja nikkelin tuotanto ja varannot ovat keskittyneet ilmastomuutokselle tässä vertailussa haavoittuvimpiin maihin. Bauksiitin ja kuparin tuotannon haavoittuvuus voi lisääntyä tulevaisuudessa, sillä niiden varantojen osuus haavoittuvissa maissa on suurempi kuin nykyisen tuotannon osuus. Rautamalmi-, volframi- ja koksiihilentuottajamaat ovat verrattain vähemmän alttiita ilmastomuutoksen suorille vaikutuksille, ja platinametallien ja litiumin tuotanto ja varannot sijaitsevat puolestaan tämän vertailun vähiten haavoittuvissa maissa. Kuitenkin tuotannon ja varantojen keskittyminen (platinametallien tuotanto ja varannot

347 EEA 2024a; Zhijian 2022.

348 UNEP 2024.

349 PwC 2024.

350 Savige ym. 2025.

351 Morgan & Dobson 2020.

352 UNEP 2024.

kahdessa maassa ja litiumin neljässä maassa) on riskialtis häiriöille vaihtoehtoisten toimittajien vähyyden vuoksi.³⁵³

Kaivostoimintaan kohdistuvat **suorat ilmastoriskit vaihtelevat kaivostyyppin mukaan**. Esimerkiksi PwC analysoi, että suurin osa bauksiitin, raudan, koboltin, kuparin, litiumin ja sinkin louhinnasta tapahtuu pinta- tai avolouhoksissa, jotka altistuvat todennäköisemmin suoralle auringonvalolle altistaen työntekijät lämpöstressille.³⁵⁴ 1 642 keski suurta ja suurta energiasiirtymän mineraaleja tuottavaa kaivosta tarkastelleessa tutkimuksessa havaittiin, että vuoteen 2050 mennessä 90 prosenttia kaivoksista kohtaa nousevia lämpötiloja. Ihmisten terveydelle vaarallisiksi katsottujen päivien määrä, jona lämpötila on yli 35 °C, nousee erityisesti alueilla, joilla on jo nyt äärimmäistä kuumuutta, kuten Australian sisämaassa, Afrikassa ja Amazonin alueella. Esimerkiksi Etelä-Afrikka, joka on 37 prosentin osuudella maailman johtava litiumioniakuissa käytettävän mangaanin tuottaja, tulee kärsimään vuoteen 2050 mennessä yli 80 päivästä vuodessa ihmisille sietämättömistä lämpötiloista suurimmassa osassa maan keski- ja pohjoisosissa sijaitsevilla mangaanikaivoksilla.³⁵⁵

Kaivokset ovat **keskittyneet maantieteellisesti tiettyihin maihin ja lisäksi tietyille alueille kyseisissä maissa**, mikä lisää häiriöiden riskiä. Esimerkiksi yli puolet maailman koboltista tulee vain viidestä kaivoksesta Kongon demokraattisessa tasavallassa. Neljä suurinta kaivosta sijaitsevat saman tien varrella 100 kilometrin matkalla. Peräti 81 prosenttia maailman litiumista, 50 prosenttia bauksiitista ja 44 prosenttia raudasta on peräisin enintään kymmenestä kaivoksesta.³⁵⁶ Tällainen keskittyminen lisää tuotantohäiriöiden riskiä paitsi äärimmäisten sääilmiöiden myös muiden syiden, kuten **konfliktien**, vuoksi. Esimerkiksi Gabon on maailman toiseksi suurin sähköautoihin tarvittavan mangaanin tuottaja, mutta tuotanto-olosuhteet ovat vaarantuneet vuoden 2023 sotilasvallankaappauksen myötä.³⁵⁷ Kaivosten sijain- teja – mutta ei tuotantovolyyymia – tarkastelevan selvityksen mukaan esimerkiksi antimonin, bauksiitin, kromiitin (kromia sisältävä malmineraali, joka ei EU:n luokittelussa ole kriittinen tai strateginen, mutta jonka suomalaiset yritykset mainitsevat itselleen kriittiseksi [ks. osio *Teollisuuden raaka-ainetarpeet*]), nikkelin, palladiumin, platinan ja vanadiinin tuotanto on maantieteellisesti keskittynyt

353 Rüttinger ym. 2020.

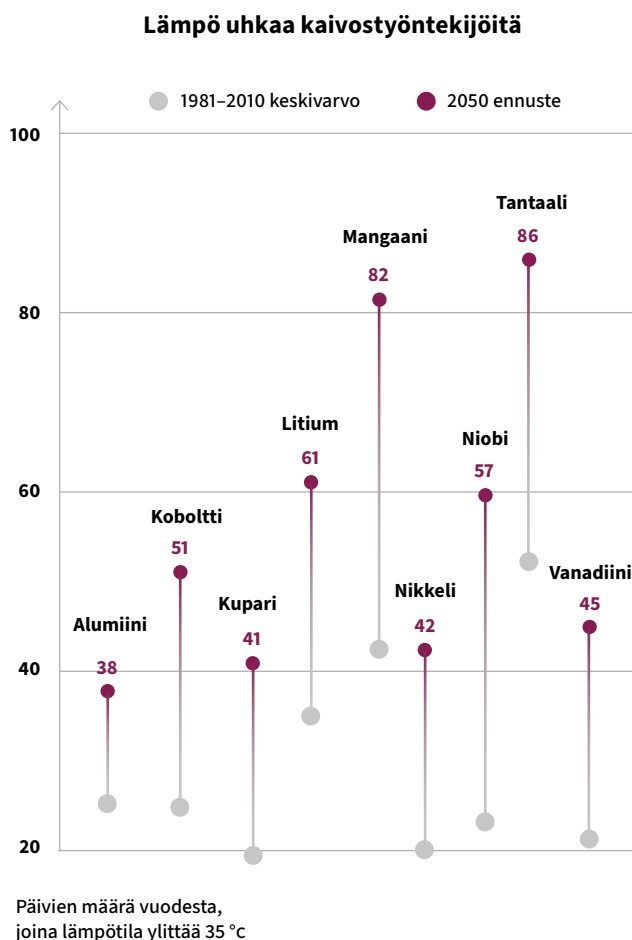
354 PwC 2024.

355 Savige ym. 2025.

356 PwC 2024.

357 Hendrix 2023.

Kuva 6. Ilmastomallit ennustavat, että useimmat kriittisiä mineraaleja tuottavat suuret kaivokset tulevat vuoteen 2050 mennessä kokemaan vuodessa kymmeniä lisäpäiviä, jolloin työskentely ei ole turvallista yli 35 °C lämpötilojen vuoksi. Kuvassa esitetään vuotuinen päivien määrä, jolloin ilman lämpötila ylittää 35 °C. Lähde: Savige ym. 2025.



valuma-alueille, joihin kohdistuu suurimmat vesiriskit. Tällaisia valuma-alueita ovat esimerkiksi Jangtse-joen ja Keltaisenjoen ympäristöt Kiinassa ja Limpopo-joen alue eteläisessä osassa Afrikkaa.³⁵⁸

2.7.1 Vesi- ja energiariskit

Raaka-aineiden louhinta ja jalostus on itsessään erittäin **energia- ja vesi-intensiivinen prosessi**. Kaivostoiminnassa käytettävät menetelmät vaativat huomattavia määriä vettä esimerkiksi mineraalien erottamiseen, koneiden jäähdyttämiseen ja pölyn hallintaan. Kaivostoiminnassa ja jalostuksessa syntyy jätteitä, jotka voivat saastuttaa ympäröivää luontoa ja lähiyhteisöjen vesivaroja. Veden puute voi siis vaikuttaa moniin asioihin, kuten tuotantonopeuksiin,

³⁵⁸ Ks. Morgan & Dobson 2020.

pölynhallintatekniikoihin, kaivoksen kuivatuksen koostumukseen ja rikastushiekka-altaiden peittämiseen.³⁵⁹ Veden puutteesta on seurannut taloudellisia menetyksiä kaivosyhtiöille useassa maassa.³⁶⁰ Vesistressi voi vaikuttaa tuotantoon lisäksi **epäsuorasti** vähentämällä veden saatavuutta vesivoiman tuotantoon tai lämpövoimalaitosten jäähtytykseen.³⁶¹

World Resources Instituten (WRI) selvityksessä, jossa hyödynnettiin Yhdysvaltain geologisen tutkimuskeskuksen ja WRI:n kehittämää Aqueduct-työkalua havaittiin, että **ainakin 16 prosenttia maailman kriittisistä mineraalikaivoksista, -esiintymistä ja -alueista sijaitsee alueilla, joilla vesistressi on jo nyt korkea tai erittäin korkea**. Näillä alueilla maatalous, teollisuus ja kotitaloudet kuluttavat säännöllisesti suuren osan tai suurimman osan käytettävissä olevista vesivaroista. Esimerkiksi Chilen merkittävällä kaivosalueella Salar de Atacamassa litiumin ja kuparin louhinta on kuluttanut yli 65 prosenttia paikallisista vesivaroista, mikä on entisestään pahentanut alueella elävien yhteisöjen vesipulaa. Lisäksi 8 prosenttia maailman kriittisistä mineraaliesiintymistä sijaitsee kuivilla alueilla, joilla käytettävissä olevat vesivarat ja kokonaisvedentarve ovat hyvin vähäiset. Kaivostoiminnan nopea kasvu näillä alueilla voi helposti lisätä veden kysyntää ja ajaa alueet korkeaan tai erittäin korkeaan vesistressiin. Kuivia tai korkean vesistressin maita, joissa on kriittisimpiä mineraaliesiintymiä ovat Yhdysvallat, Australia, Etelä-Afrikka, Intia, Kiina, Mongolia, Venäjä, Meksiko, Chile ja Namibia.³⁶²

Reuters raportoi, että monia kaivoksia Chilessä, Venäjällä, Brasiliassa ja Saksassa on suljettu tilapäisesti vesipulan vuoksi ja että 30–50 prosenttia kupari-, kulta-, rauta- ja sinkkikaivoksista sijaitsee alueilla, joilla on suuri vesistökuormitus.³⁶³ *Carbon Disclosure Projectin* (CDP) teettämässä kyselyssä, joka kattoi 54 maailman suurinta pörssinoteerattua kaivosyhtiötä, 44 prosenttia vastaajista ilmoitti kärsineensä vesiongelmien liittyvistä taloudellisista tappioista vuosina 2014–2019. Tappioiden määrä oli yhteensä 11,8 miljardia Yhdysvaltain dollaria. Vuoteen 2030 mennessä arviolta yli neljännes maailman kaivostuotannosta, jonka arvo on 50 miljardia Yhdysvaltain dollaria, altistuu merkittävälle vesistressille.³⁶⁴

359 Qarahasanlou ym. 2024.

360 Ks. UNEP 2024.

361 EEA 2024a.

362 Lakshman 2024.

363 Scott 2024.

364 CDP 2020; UNEP 2024.

Veteen liittyvät ongelmat pahenevat laajoilla alueilla ilmastomuutoksen edetessä.³⁶⁵ Nykykehityksen skenaariossa (*business-as-usual*) vuoteen 2050 mennessä 20 prosenttia nykyisistä kriittisistä mineraalien esiintymispaikoista sijaitsisi alueilla, joilla vesistökuormitus on korkea tai erittäin korkea. Tämä arvio pohjautuu kuitenkin epätäydellisiin tietoihin kaivosten sijainnista, eikä arviossa ole huomioitu kuparia, jonka saanti olisi energiasiirtymälle tärkeää.³⁶⁶ Toisaalta myös vuoteen 2050 mennessä vuotuisen sademäärän – ja rankkasateiden riskin – odotetaan nousevan kolmessa viidestä (62 prosentissa) kaivosalueista, erityisesti Perun, Bolivian ja Pohjois-Argentiinan Keski-Andien kaivoksilla – mukaan lukien niillä alueilla, joita on perinteisesti pidetty vesipulasta kärsivinä.³⁶⁷ PwC:n raportissa on puolestaan arvioitu, että vaikka päästöjä vähennettäisiin huomattavasti, yli 70 prosenttia koboltin ja litiumin tuotannosta voi joutua kärsimään merkittävästä, suuresta tai äärimmäisestä kuivuusriskistä vuoteen 2050 mennessä.³⁶⁸

Paikallisten ympäristövaikutusten lisäksi kaivostoimintaan liittyy **globaaleja ilmastovaikutuksia**, joita tulisi hillitä. Kaivosprosessien osuus maailman kasvihuonekaasupäästöistä on 4–7 prosenttia, ja mineraali- ja metallituotanto aiheuttaa puolestaan tätäkin enemmän päästöjä: teräksen valmistuksen osuus on noin 7–11 prosenttia ja alumiinin valmistuksen 2–3 prosenttia maailmanlaajuisista päästöistä.³⁶⁹ Lisäksi esimerkiksi nikkelikaivostoimintaan liittyvä metsien hävittäminen aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä suuressa mittakaavassa, eivätkä yritykset ja hallitukset ole useinkaan tätä tunnistaneeet.³⁷⁰ Samalla esiintymien heikompi laatu lisää resursseja, joita sen louhintaan tarvitaan: esimerkiksi kuparin louhinnan osalta polttoaineen kulutus kasvoi 130 prosenttia ja sähkönkulutus 32 prosenttia louhittua kupariyksikköä kohti Chilessä vuosina 2001–2017. IEA puolestaan raportoi kaivosjätteen määrän kasvaneen tuotettua mineraaliyksikköä kohden yli 20 prosenttia ja vedenkulutuksen noin 25 prosenttia vuosina 2019–2022.³⁷¹

Mineraalien ja metallien tuotannon energiantensiteetti vaihtelee muun muassa malmin laadun, kaivostyyppin ja käytettävissä olevien teknologioiden mukaan. Yleensä suurimmat energiantarpeet liittyvät hienonnuksen, kuljetukseen ja siirtoon tai sulatukseen,

365 Esim. Kuzma ym. 2023.

366 Lakshman 2024.

367 Savige ym. 2025.

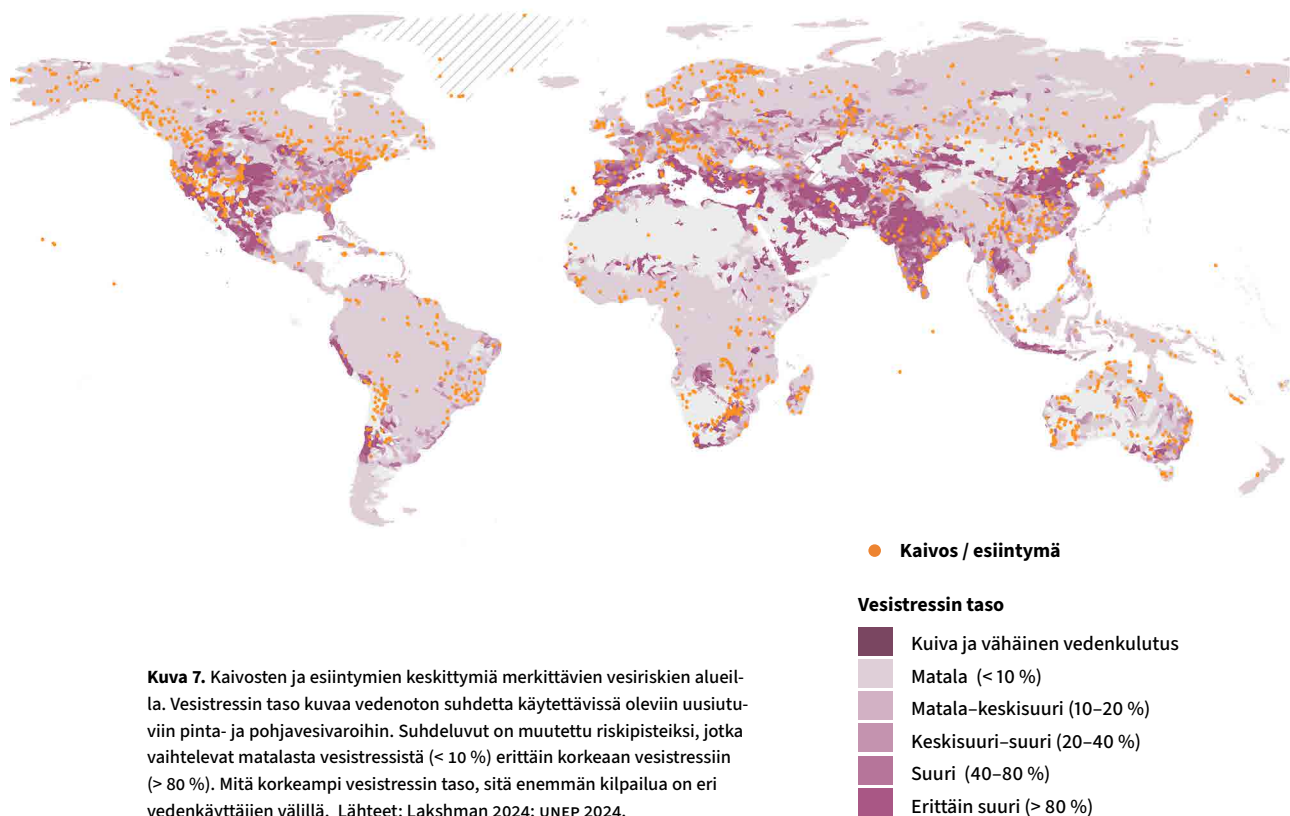
368 PwC 2024.

369 PwC 2023; Qarahasanlou ym. 2024; UNEP 2024.

370 Nature 2025.

371 IEA 2024a.

Kaivokset ja vesistressi



Kuva 7. Kaivosten ja esiintymien keskittymiä merkittävien vesiriskien alueilla. Vesistressin taso kuvaa vedenoton suhdetta käytettävissä oleviin uusiutuviin pinta- ja pohjavesivaroihin. Suhdeluvut on muutettu riskipisteiksi, jotka vaihtelevat matalasta vesistressistä (< 10 %) erittäin korkeaan vesistressiin (> 80 %). Mitä korkeampi vesistressin taso, sitä enemmän kilpailua on eri vedenkäyttäjien välillä. Lähteet: Lakshman 2024; UNEP 2024.

mutta eri raaka-aineilla resurssien kulutus vaihtelee. Esimerkiksi rautamalmin louhinnassa suurin osa energiasta tarvitaan kuljetukseen ja lastaukseen, joten dieselin kulutus on merkittävä tekijä sen kasvi-huonekaasupäästöissä. Kuparin louhinnassa murskaus ja jauhaminen ovat puolestaan tuotantoketjun energiantensiivisimpiä osia, ja ne aiheuttavat eniten kasvihuonekaasupäästöjä.³⁷² Australiasta Kiinaan ulottuvaa litiumin tuotantoketjua tarkastelevassa tutkimuksessa selvitettiin, että toimitusketjun merkittävimmät ympäristövaikutukset liittyvät akkukäyttöön tarkoitetun litiumkarbonaatin jalostukseen, johon vaikuttavat energian (sähkö, hiili ja maakaasu), rikkihapon, soodan ja natriumhydroksidin käyttö. Lisäksi litiumkarbonaatin jalostus kuluttaa eniten vettä.³⁷³

372 Azadi ym. 2020.

373 Feng ym. 2024.

2.7.2 Logistiset häiriöt

Mineraaliala on riippuvainen logistiikan toimivuudesta. Äärimmäisten sääilmiöiden arvioidaan vaikuttavan yhä enemmän elintärkeisiin infrastruktuureihin, joista eniten kärsivät liikenne, teollisuus ja energiantuotanto.³⁷⁴ Erityisesti laivaliikenteen solmukohtien häiriöt voivat aiheuttaa laajoja häiriöitä, ja useimmat niistä ovat joutuneet sulkemaan tai keskeyttämään kauttakulun kahden viime vuosikymmenen aikana.³⁷⁵ Ilmastomuutos heikentää myös Euroopan sisävesiväylien luotettavuutta, kuten osoitti tavarakuljetusten pysähtyminen 132 päiväksi Reinillä vuonna 2018 matalan vedenpinnan vuoksi³⁷⁶ ja vastaavat ongelmat esimerkiksi kesällä 2022³⁷⁷. Myös maalla sijaitseva liikenneinfrastruktuuri on merkittävässä vaarassa ilmastomuutoksen vaikutuksesta, erityisesti tulvien ja maanvyöryjen, mutta yhä useammin lisäksi äärimmäisen kuumuuden, maastopalojen ja muiden vaikutusten vuoksi.³⁷⁸

1340 sataman tarkastelussa havaittiin, että satamat ovat alttiita useiden eri ääri-ilmiöiden ja luonnonkatastrofien aiheuttamille vahingoille ja häiriöille. Noin 40 prosenttia on alttiita äärimmäisille merenkäyntiolosuhteille, ja valtaosa (lähes 95 prosenttia) satamista on alttiita useammalle kuin yhdelle luonnonkatastrofille, kun taas puolet niistä altistuu neljälle tai viidelle eri luonnonkatastrofille. Yleisimpiä näistä olivat tulva- ja hulevesien aiheuttamat häiriöt. Verschuur ym. tutkimuksen perusteella suurimman osan satamista tulisi ottaa huomioon varautuminen useaan päällekkäiseen katastrofiin.³⁷⁹ Monet maat ovat perustaneet erityistalousalueita ja teollisuuskeskitymiä suurten satamien läheisyyteen, joten näillä rannikkoalueilla tapahtuvat sään ääri-ilmiöt vaikuttavat sekä tuotantoon että rahtiliikenteeseen.³⁸⁰

Ilmastomuutos kuormittaa kuljetusinfrastruktuuria jatkuvasti, mikä altistaa sitä entisestään äärimmäisille tapahtumille.³⁸¹ Suurin osa maailman kauppatarvasta kulkee meriteitse,³⁸² mutta esimerkiksi merenpinnan nousu vaikeuttaa satamien ja laivayhtiöiden

374 Forzieri ym. 2018; Tenggren ym. 2019; ks. myös Hakala & Räisänen 2024a.

375 Bailey & Wellesley 2017.

376 Kaufmann 2019.

377 EEA 2024a.

378 EEA 2024a.

379 Verschuur ym. 2023.

380 EEA 2024a.

381 Bailey & Wellesley 2017.

382 EEA 2024a.

toimintaa.³⁸³ Samaan aikaan meriliikenteellä on kestävyysshaasteita, joihin ala vastaa etenkin biopolttoaineiden käytön avulla. Biopolttoaineiden tuotantomäärät ja -potentiaali ovat kuitenkin rajalliset, ja meri-, maantie- ja lentoliikenne kilpailevat samasta polttoaineesta.³⁸⁴

Kaivosalueet Etelä-Kiinassa kärsivät rankkasateista ja tulvista, joiden esiintyminen voi kaksinkertaistua vuoteen 2030 mennessä ilmastomuutoksen edetessä. EEA arvioikin hyvin todennäköiseksi, että nämä sään ääri-ilmiöt voivat häiritä kriittisten materiaalien toimituksia alueelta. Tämä vaikuttaa myös EU:hun, joka on Kiinan tuotannosta hyvin riippuvainen. Heinäkuussa 2021 Kiinassa ennätysateet aiheuttivat tulvia, jotka keskeyttivät Henanin maakunnassa raaka-aineiden, kuten alumiinin ja lyijyn tuotannon sekä aiheuttivat häiriöitä monen materiaalin ja tuotteen kuljetukselle.³⁸⁵ Sykloni Alfred katkaisi tie- ja rautatieyhteydet Mount Isassa Australiassa helmikuussa 2025, mikä pakotti alueen kuparikaivokset vähentämään tuotantoaan, vaikka kaivokset ja jalostuslaitokset eivät olleet vahingoittuneet.³⁸⁶ Vastaavat tilanteet voivat ilmastomuutoksen myötä toistua ja voimistua.

Kriittisten raaka-aineiden kuljetus Kongon ja Sambian kaivoksilta Etelä-Afrikan satamiin kuvaa, kuinka ilmasto- ja turvallisuustekijät vaikeuttavat logistiikkaa. Reilun 3000 kilometrin matka on kallis ja hidas liikenteen pullonkaulojen, lakkojen ja väkivaltaisten mielenosoitusten vuoksi. Rekkakaappaukset ja sosiaaliset levottomuudet ovat lisänneet aseistettujen turvasaattueiden tarvetta ja nostaneet vakuutuskustannuksia merkittävästi. Myös ilmaston ääri-ilmiöt haittaavat kuljetuksia: Durbanin satama, joka on kärsinyt tulvista ja infrastruktuurivaurioista, on arvioitu yhdeksi maailman tehottomimmista konttisatamista, vaikka se onkin yksi Afrikan merkittävimmistä satamista.³⁸⁷

2.7.3 Ympäristöongelmat ja sosiaalinen toimituslupa

Vaikka kaivosten kokonaismäärä olisi uusiutuvaa energiaa käyttävässä maailmassa alhaisempi kuin fossiilisia polttoaineita käyttävässä maailmassa, on jokaisella uudella kaivoksella uusia, **paikallisia ympäristövaikutuksia**. Esimerkiksi pienimuotoisen, ei-teollisen kaivostoiminnan leviämisen on todettu aiheuttavan metsäkatoa

383 Esim. Forzieri ym. 2018.

384 Ojala ym. 2023.

385 EEA 2024a; Qarahasanlou ym. 2024.

386 Savige ym. 2025.

387 Hill 2022.

Kongon demokraattisessa tasavallassa, kun kaivostoiminnan mukana aiemmin asumattomille alueille leviää maanviljelyä ja asutusta, jonka tieltä metsää raivataan.³⁸⁸ Myös **syvänmeren kaivostoiminnalla**, josta on enenevässä määrin puhetta,³⁸⁹ olisi pysyviä vaikutuksia merenpohjaan ainakin vuosikymmenien ajan, ja monien eliöryhmien osalta muutos on pysyvää suoraan häiriintyneillä alueilla, vaikka jonkin verran uudelleenasutusta tapahtuukin.³⁹⁰ Kaivostoimintaa **arktisilla alueilla** koskee puolestaan omanlaiset haasteensa, kun alueella kohtaavat ilmastomuutoksen nopean etenemisen vaikutukset, luontoon perustuvat elinkeinot ja alkuperäisyhteisöjen intressit.³⁹¹

IEA:n kriittisten mineraalien selvitys korostaa **kuutta vastuulisuus- ja kestävyysulottuvuutta, joilla voi olla merkittäviä vaikutuksia raaka-aineiden toimitusvarmuuteen**: vesi, kasvihuonekaasupäästöt, biologinen monimuotoisuus, ihmisoikeudet, yhteisöt ja korruptio. IEA varoittaa, että epäonnistumiset näillä alueilla voivat rajoittaa markkinoille pääsyä, luoda oikeudellisia esteitä, vähentää investointeja, vahingoittaa mainetta, lisätä paikallisyhteisöjen vastustuksen todennäköisyyttä ja joissakin tapauksissa fyysisesti estää hankkeiden toiminnan.³⁹² Sosiaalisen hyväksyttävyyden puute sekä kaivoksille että vihreän energian projekteille on tunnistettu vihreän siirtymän mahdolliseksi haasteeksi.³⁹³ Myös EEA varoittaa, että kaivokset ja teolliset tuotantolaitokset, joista tuodaan tuotteita EU:hun, voivat pahentaa paikallisia ympäristövaikutuksia, ja näiden paikallisten vaikutusten huomiotta jättäminen voi johtaa siihen, että tulevat toimitukset häiriintyvät sosiaalisten levottomuuksien ja humanitääristen kriisien vuoksi.³⁹⁴

Globaalilla kaivosalalla esiintyy **ihmisoikeus- ja ympäristöongelmia**.³⁹⁵ Berliiniläinen *Transparency International* -järjestö havaitsi, että suurin osa energiamurroksen kannalta kriittisistä materiaaleista sijaitsee maissa, jotka sijoittuvat huonosti korruptioindekseissä. Kaivosyhtiöiden omavalvonta ei ole riittävää, sillä nykyiset mineraalien toimitusketjun auditointi- ja sertifiointijärjestelmät ovat

388 Ladewig ym. 2024; Toto 2025.

389 Esim. Bearak ym. 2025.

390 Jones ym. 2025.

391 Ks. Tolvanen ym. 2019.

392 IEA 2024a.

393 Esim. European Commission 2021a; TEM 2013; 2021; Vasara ym. 2023.

394 EEA 2024a.

395 Esim. Surma 2023; United States Department of Justice 2022; Business & Human Rights Resource Centre 2025.

vapaaehtoisia ja joskus kaivosyhtiöiden itsensä johtamia.³⁹⁶ Ongelmallista on myös pienimuotoisen, usein vaarallisiin työolosuhteisiin ja puutteellisiin välineisiin perustuvan kaivostoiminnan suuri rooli tuotannossa: maailmanlaajuisesti 40 miljoonaa ”käsityöläisluokan” kaivostyöläistä tuottaa joitakin kymmeniä prosentteja maailman mineraaleista ja metalleista. Sekä suuren että pienen mittakaavan kaivostoiminnan ympäristöllisiin ja sosiaalisiin epäkohtiin tulisi puuttua niin, että paikallisilla säilyisi mahdollisuus ansaita elantoa.³⁹⁷

IRENA kuvaa, että noin 54 prosenttia energiasiirtymään tarvittavista mineraaleista sijaitsee **alkuperäiskansojen asuinalueilla** tai niiden läheisyydessä: esimerkiksi yli 80 prosenttia litiumhankkeista ja yli puolet nikkeli-, kupari- ja sinkkihankkeista sijaitsee alkuperäiskansojen alueilla. Lisäksi yli kolmannes energiamurroksen kannalta merkityksellisistä mineraalihankkeista on alkuperäiskansojen tai maanviljelijöiden alueilla (tai niiden läheisyydessä), joilla on vesiriski, konflikteja ja ruokaturvan puutetta – ja tämä koskee etenkin platinaa, molybdeenia ja grafiittia.”³⁹⁸

Valtaosan tätä tutkimusta varten haastateltujen asiantuntijoiden ja sidosryhmien edustajien mukaan sosiaalinen hyväksyttävyys on noussut keskeiseksi tekijäksi kaivosteollisuuden toimintaedellytyksissä Suomessa ja globaalisti. Paikallinen vastustus voi viivästyttää hankkeita, ja lähes kaikki kaivoshankkeet kohtaavat vastustusta, joka purkautuu erityisesti sosiaalisen median kautta. Kaivosteollisuus ry:n edustaja kuitenkin huomautti, että vastustuksen vuoksi tuotantoa ei ole jäänyt toteuttamatta, vaan taustalla on ennemminkin kaupallisia syitä. Muutamat haastateltavat viittasivat myös kyselytutkimuksiin, jotka osoittavat, että suurin osa kansalaisista ei vastusta kaivoksia, koska ne luovat työpaikkoja. Haastatelluista erityisesti ympäristöasiantuntijat muistuttivat, että kaivosten paikallinen vastustus liittyy usein perusteltuihin huoliin ympäristöstä, elinkeinoista ja alueen tulevaisuudesta. Samalla peräänkuulutettiin monipuolisempaa keskustelua siitä, miten muut paikalliset elinkeinot pärjäisivät kaivostoiminnan rinnalla.

Haastateltavat korostivat sitä, että kaivostoiminnan sosiaalisen toimiluvan saavuttaminen edellyttää läpinäkyvyyttä, varhaista osallisuutta ja aitoa vuorovaikutusta – ei pelkkää kuulemistä. Useat toimijat painottavat, että hyväksyttävyyden parantamiseksi tarvitaan

396 Ks. Surma 2023; myös Human Rights Watch 2023; Müller-Hoff 2021; OECD 2022.

397 Buxton 2013; Iqbal 2019; IGF 2018.

398 United Nations 2024.

konkreettisia toimenpiteitä. Esimerkiksi kaivosten teknisten rakenteiden parantaminen, vesistöpäästöjen minimointi ja koko arvoketjun läpinäkyvyys voisivat vahvistaa luottamusta. Haastatteluissa korostuu se, että ilman sosiaalista hyväksyttävyyttä raaka-aineiden tuotantoa on hankalaa laajentaa, vaikka mineraalien globaali tarve kasvaa. Alan on osoitettava, että se pystyy toimimaan vastuullisesti – muuten riski hankkeiden lykkääntymiselle tai kariutumiselle kasvaa, niin Suomessa kuin muualla Euroopassa.

2.8 Raaka-aineiden geopolitiikkaa

IRENA arvioi, että lyhyellä aikavälillä energiasiirtymän vaatimien materiaalien tuotantoketjuihin voi liittyä merkittäviä geopolittisia riskejä. Sen sijaan keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä näiden materiaalien kauppavirrat eivät todennäköisesti sen arvion mukaan ole yhtä alttiita geopolittiselle vaikutukselle kuin öljy ja kaasu ovat olleet. Syynä tähän ovat runsaat varannot, jotka sijaitsevat maantieteellisesti laajoilla alueilla sekä jalostuksen mahdollisuudesta monissa paikoissa. Tämä vaatisi kuitenkin malminetsinnän ja tuotantokapasiteetin merkittävää ja pitkäjänteistä lisäämistä.³⁹⁹

IRENA luettelee tuotantoketjujen merkittävimmiä geopolittisiksi riskeiksi ulkoiset häiriöt, kuten luonnonkatastrofit ja sodat; resurssinationalismin, kuten pakkolunastukset ja ulkomaisten investointien seulonnan; vientirajoitukset, kuten vientikiintiöt ja -verot; mineraalikartellit, eli tuotannon koordinoinnin ja hinnoittelun ja markkinoiden jakamisen; poliittisen ja yhteiskunnallisen epävakauden, kuten lakot, väkivallan ja korruption; sekä markkinoiden manipuloinnin, kuten lyhyeksi myynnin eli shorttaamisen tai sisäpiirikaupat.⁴⁰⁰ Ainakin energiasiirtymän vielä ollessa käynnissä vaikuttaa siltä, että jännittyneet kansainväliset suhteet näkyvät osaltaan myös raaka-aineiden hallintaan liittyvinä ristiriitoina.

2.8.1 Geopoliittinen käänne ja teollisuuspolitiikan paluu

Elämme **kirstyneiden suurvaltasuhteiden** ja **geotalouden** aikakautta, jossa taloudelliset riippuvuudet nähdään yhä useammin turvallisuusriskinä.⁴⁰¹ Tätä ”geopoliittista käännettä” heijastavat myös EU:n

399 IRENA 2023.

400 IRENA 2023.

401 Esim. Mattlin ym. 2023; Titievskaja 2021.

vihreän siirtymän ohjelmat, kuten REPowerEU ja Vihreän kehityksen ohjelman teollisuussuunnitelma, joissa ilmasto- ja kestävyyspolitiikka yhdistetään strategisiin ja geopolittisiin tavoitteisiin. Samalla on hyväksytty poikkeaminen kestävyystavoitteista esimerkiksi LNG-tuonnin ja kaasuinfrastruktuurin tukemiseksi.⁴⁰²

Ilmastopolitiikkaa tehdään enenevässä määrin strategisena teollisuuspolitiikkana.⁴⁰³ Kiinan *Made in China 2025* ja Yhdysvaltojen *Inflation Reduction Act* (IRA) tukevat puhtaan energiateknologian kotimaista tuotantoa ja investointeja, mikä on kiristänyt kilpailua vihreän teknologian markkinoista. Investoinneista kilpaillaan verohelpotusten ja tukien avulla, ja tuontitullein pyritään lisäämään talouden kilpailukykyä. Esimerkiksi IRA on houkutellut lyhyessä ajassa satojen miljardien dollarien investoinnit Yhdysvaltoihin, ja EU on vastannut sallimalla väliaikaisia poikkeuksia valtiontukisääntöihin,⁴⁰⁴ minkä myötä esimerkiksi Ranska ja Saksa ovat panostaneet vihreän teräksen, vihreän vedyn, akkuteollisuuden ja mikrosirujen tuotantoon.⁴⁰⁵ Yhdysvaltain presidentti Donald Trump on kuitenkin toisella kaudellaan nopeasti purkanut IRA:an liittyviä uusiutuvan energian tukimuotoja ja verohelpotuksia,⁴⁰⁶ mikä voi laskea yritysten kiinnostusta investoida Yhdysvaltoihin.

Kasvava strateginen kilpailu voi hidastaa energiasiirtymää, sillä se uhkaa vihreän teknologian ja kriittisten materiaalien toimitusketjujen varmuutta.⁴⁰⁷ Tuotantoketjujen häiriöiden ennakointi on aiempaa vaikeampaa, ja häiriöt voivat koskea aloja, jotka eivät ole perinteisesti olleet huoltovarmuustoiminnan kohteina. Valtiot voivat vaikuttaa muiden maiden huoltovarmuuteen painostamalla yrityksiä, asettamalla sanktioita tai tekemällä strategisia yritysostoja. Kriittinen teknologia voi samalla synnyttää uusia riippuvuuksia toimitusten ja ylläpidon kautta.⁴⁰⁸ Valtiot pyrkivät nyt lisäämään huoltovarmuuttaan ja ”strategista autonomiaansa” muun muassa siirtämällä tuotantoa takaisin kotimaihin (*re-shoring*) tai liittolaismaihin (*friend-shoring*).⁴⁰⁹ EU:n lisäksi esimerkiksi Kiina ja Yhdysvallat ovat laatineet luettelot kriittisistä raaka-aineista, joiden saatavuus halutaan turvata. Samalla useaa näistä materiaaleista tarvitaan energiasiirtymän lisäksi digitalisaatioon

402 Siddi 2023.

403 Lewis 2024.

404 Di Sario 2024; Valtioneuvosto 2023.

405 Esim. Luoma 2024.

406 Zhao ym. 2025.

407 Ks. myös Hakala & Räisänen 2024b.

408 Mattlin ym. 2023.

409 Baldwin & Freeman 2022; Damen 2022; Javorcik ym. 2022.

sekä ilmailu-, avaruus- ja puolustusteollisuudessa, jolloin kilpailu niiden käyttötarkoituksista kiihtyy.⁴¹⁰ Esimerkiksi Pohjois-Atlantin liitto Nato on julkaissut puolustukselle kriittisten raaka-aineiden listan, johon sisältyvät muun muassa litiumioniakkuihinkin tarvittavat alumiini, grafiitti, litium, koboltti ja mangaani.⁴¹¹

Viime vuosikymmeninä Yhdysvaltojen ja Kiinan suhteet ovat kiristyneet, vaikka maat ovatkin edelleen toisilleen keskeisiä kauppakumppaneita.⁴¹² Kiinan WTO-jäsenyyden (2001) ei odotuksista huolimatta katsota tuoneen sitä täysin samalle viivalle länsimaiden kanssa: vaikka presidentti Xi Jinping on avannut markkinoita ulkomaisille investoinneille, kiinalaisyriyksen katsotaan yhä nauttivan kilpailuetua kotimarkkinoilla. Siitä huolimatta Kiina ohitti vuonna 2021 Yhdysvallat suorien ulkomaisten investointien suurimpana kohteena.⁴¹³

Yhdysvaltain hallinnot Trumpista Bideniin ovat jatkaneet samansuuntaista, Kiina-kriittistä linjaa, johon kuuluvat muun muassa satojen miljardien dollarien tullit.⁴¹⁴ Suurvaltojen välinen kilpailu voi jakaa maailmaa kahteen leiriin kehittyneiden teknologioiden suhteen. Vaikka länsimaat pyrkivät vähentämään riippuvuuttaan Kiinasta, maa on edelleen merkittävä markkina ja tuotantokeskus – myös suomalaisille yrityksille.⁴¹⁵ Kiinalaiset yritykset vastaavat nykyään noin 75 prosentista maailmanlaajuisista päästöttömän energian patenttihakemuksista, kun vuonna 2000 niiden osuus oli vain 5 prosenttia. Energiasiirtymän materiaallinen ja teollinen keskus on Kiinassa. Kiina on luonut valtavan energiateknologioiden vientimarkkinan, joka vastaa globaaleihin ilmastotarpeisiin, tuottaa maalle taloudellista tuottoa ja vahvistaa sen geopoliittista vaikutusvaltaa.⁴¹⁶

2.8.2 Vientirajoituksia ja tulleja

Kriittisiin raaka-aineisiin ja komponentteihin on kohdistettu enenevässä määrin vientirajoituksia ja -kieltoja. Kiina rajoitti esimerkiksi harvinaisten maametallien vientiä jo 2000-luvun alussa.⁴¹⁷ Sitten Yhdysvallat ja sen liittolaiset, kuten Alankomaat ja Japani, asettivat puolijohteisiin liittyviä vientirajoitteita kansalliseen turvallisuuteen

410 Hakala & Räisänen 2024b.

411 Hackett ym. 2025.

412 Esim. Benson & Sicilia 2023.

413 Hass & Denmark 2020; Titievskaja 2021.

414 Esim. Goodman 2024.

415 Laakkonen ym. 2023; Swanson 2024.

416 Esim. Lupoff 2025.

417 Bradsher 2010; Scheyder 2024.

vedoten vuonna 2022.⁴¹⁸ Sekä Bidenin että Trumpin hallinnot ovat sitemmin kiristäneet näitä rajoitteita.⁴¹⁹

Kiina on vastannut asettamalla vientirajoituksia muun muassa galliumille, germaniumille, grafiitille ja antimonille⁴²⁰, joiden tuotannosta se hallitsee suurta osaa maailmanmarkkinoista.⁴²¹ Kiina kielsi joulukuussa 2024 kokonaan galliumin, germaniumin ja antimonin viennin Yhdysvaltoihin⁴²² ja kertoi harkitsevansa grafiitin viennin ankarampaa rajoittamista.⁴²³ Trump puolestaan asetti lisää tuontitulleja kiinalaisille tuotteille alkuvuodesta 2025,⁴²⁴ johon Kiina vastasi muun muassa kiristämällä volframia, telluuria, vismuttia, molybdeenä ja indiumia koskevien tuotteiden vientivalvontaa.⁴²⁵ Lokakuussa 2025 Kiina ilmoitti asettavansa vientirajoituksia ja -valvontaa tietyille akkujen anodeille, litiumkatodeille ja esiasteille sekä harvinaisille maametalleille ja niihin liittyville teknologioille.⁴²⁶ Kiinan ja Yhdysvaltojen presidenttien tapaamisen myötä akkumateriaaleja koskevien vientirajoitusten käyttöönotto kuitenkin keskeytettiin, mikä antaa jonkinlaista viitettä kauppasuhteiden parantumisesta.⁴²⁷

Kauppajännitteet ovat laajentuneet myös sähköautoteollisuuteen.

EU, Yhdysvallat ja Kanada asettivat vuonna 2024 tulleja kiinalaisille sähköautoille vedoten valtion tukemaan ylituotantoon ja polkuhintoihin.⁴²⁸ Trumpin hallinto asetti lisäksi 25 prosentin tullit ulkomaisille ajoneuvoille ja niiden osille vuonna 2025.⁴²⁹ Kiina puolestaan harkitsee vastatoimia eurooppalaisia elintarvikkeita vastaan.⁴³⁰ Mario Draghin EU:n kilpailukykyraportin mukaan Kiinan sähköautoteollisuuden aurinkosähköalan kaltainen tukipolitiikka voisi vähentää EU:n sähköautotuotantoa jopa 70 prosenttia ja supistaa sen globaalia markkinaosuutta 30 prosenttiyksiköllä.⁴³¹

418 Hendrix 2024; Holderness ym. 2023.

419 Freifeld & Shepardson 2024; Swanson 2024.

420 Galliumia tarvitaan erilaisissa sotilas- ja elektroniikkakomponenteissa, mukaan lukien sähköajoneuvoissa käytettävien suuritehoisten sirujen valmistuksessa. Germaniumia käytetään esimerkiksi kuituoptiikassa, infrapunaoptiikassa ja aurinkokennoissa. (Temple 2024.) Antimonia käytetään esimerkiksi sotilaallisissa sovelluksissa ja aurinkopaneeleissa (Baskaran & Schwartz 2024; Reuters 2024a).

421 Benson & Denamiel 2023; IEA 2024b; Reuters 2024a.

422 Temple 2024.

423 Crownhart 2024; Pierson ym. 2024.

424 Ks. Grantham-Philips 2025.

425 Ministry of Commerce of the People's Republic of China 2025.

426 McMorro & Sevastopulo 2025; Patel 2025.

427 Shanghai Metals Market 2025a.

428 Song ym. 2024.

429 Linn & Spiller 2025.

430 Song ym. 2024.

431 Gabbatiss & Lempriere 2024.

Kiinassa on yli puolet maailman sähköautoista, ja maa on investoinut voimakkaasti sektoriin.⁴³² 88 prosenttia tuotannosta myydään kotimaassa, mutta monet kiinalaiset yritykset tuottavat autoja tällä hetkellä yli kotimaisen kysynnän. Sähköautojen vienti Kiinasta ulkomaille onkin 160-kertaistunut vuosina 2019–2023.⁴³³ Huomion-arvoista on kuitenkin, että Kiinasta ulkomaille viedyistä sähköautoista vain noin puolet on kiinalaisten yritysten valmistamia, eli esimerkiksi yhdysvaltalaisyritys Tesla valmistaa niistä noin 40 prosenttia. Monet eurooppalaiset autovalmistajat ovat myös suunnitelleet toimintansa laajentamista Kiinaan. Kiinalaisvalmistajat hallitsevat noin 11 prosenttia EU:n sähköautomarkkinoista. Kiinalaisten sähköautojen vienti Yhdysvaltoihin on ollut vähäistä, mutta komponentteja tuodaan maa-han muun muassa Meksikon ja Kanadan kautta.⁴³⁴

Vientirajoituksia asettavat myös muut maat. Esimerkiksi Chile, Peru, Zimbabwe, Kazakstan, Filippiinit ja Indonesia suhtautuvat aikaisempaa protektionistisemmin materiaalivaroihinsa. Viimeisten puolentoista vuosikymmenen aikana kriittisten mineraalien vientirajoitukset ovat viisinkertaistuneet.⁴³⁵ Ahkerimmin vuosina 2009–2020 vientirajoituksia asettivat Kiina, Intia, Argentiina, Venäjä, Vietnam ja Kazakstan. Näiden vientirajoitusten yleisin muoto oli vientiverot, jotka ovat sallittuja WTO:n sääntöjen mukaan.⁴³⁶

2.8.3 Raaka-ainediplomatiaa

Energiasiirtymän edellyttämien materiaalien saatavuuteen vaikuttavat paitsi vientirajoitukset myös valtioiden **teollisuus- ja raaka-ainepoliittikka sekä niiden solmimat kauppa- ja yhteistyösopimukset**. EU on kasvanut merkittäväksi toimijaksi kansainvälisessä kaivannaisteollisuudessa vuoden 2008 *Raw Materials Initiativen* myötä, ja se käyttää taloudellista ja poliittista vaikutusvaltaansa myös unionin ulkopuolella.⁴³⁷

EU on solminut strategisia raaka-ainekumppanuuksia Argentiinan, Australian, Kanadan, Chilen, Kongon demokraattisen tasavallan, Grönlannin, Kazakstanin, Namibian, Kanadan, Norjan, Ruandan, Serbian, Ukrainan ja Sambian kanssa⁴³⁸. EU:n solmimat

432 Kennedy 2024; Mazzocco & Sebastian 2023; Song ym. 2024.

433 Song ym. 2024.

434 Mazzocco & Sebastian 2023; Song ym. 2024.

435 Blanco & Middleton 2025; Cohen ym. 2023; Kowalski & Legendre 2023.

436 Kowalski & Legendre 2023.

437 Awuah 2019.

438 European Commission 2025b.

raaka-ainekumppanuudet ovat osa laajempaa, melko hajanaista energia- ja ilmastoyhteistyön verkostoa, jota tehdään esimerkiksi *Global Gateway* -strategian, *Green Alliance* -sopimusten ja *Just Energy Transition Partnershipin* puitteissa. Lisäksi yksittäiset jäsenvaltiot, kuten Saksa ja Italia, ovat solmineet ilmasto-, energia- ja vetykumppanuuksia kolmansien maiden kanssa.⁴³⁹

EU:n raaka-ainediplomatian tavoitteena on edistää paikallisten mineraaliarvoketjujen kehittämistä ja vahvistaa niiden läpinäkyvyyttä sekä sosiaalista ja ympäristöllistä kestävyyttä. Käytännössä on kuitenkin epäselvää, missä määrin EU:n toimet tukevat aidosti jalostusta, teollistumista ja paikallista arvonaluontia esimerkiksi Afrikassa.⁴⁴⁰ Samaan aikaan EU pyrkii suojaamaan omaa teollista pohjaansa ja vähentämään ulkoista riippuvuuttaan, mikä voi olla ristiriidassa kehitystavoitteiden kanssa.

EU:n raaka-ainediplomatia on myös herättänyt kritiikkiä. Esimerkiksi EU:n ja Ruandan allekirjoittaman yhteisymmärryspöytäkirjan⁴⁴¹ on arveltu pahentavan Kongon demokraattisessa tasavaltaan meneillään olevaa konfliktia.⁴⁴² Ruandan tukeman M23-kapinallisryhmän hallitsemat kobolttirikkaat alueet ovat keskeisiä raaka-ainelähteitä, ja osa Ruandan vientimineraleista saattaa olla peräisin Kongon konfliktialueilta, mikä ylläpitää väkivaltaa ja laittomia kauppaketjuja.⁴⁴³

Monet valtiot harjoittavat aktiivista raaka-ainediplomatiaa. Esimerkiksi Yhdysvallat, Australia, Kanada, Intia ja Etelä-Korea ovat tiivistäneet suhteitaan kriittisten mineraalien varmistamiseksi. Kiina on laajentanut ulkomaille sijoittuvia kaivos- ja metalliteollisuuden projektejaan.⁴⁴⁴ Yhdysvalloissa kanadalaiset raaka-aineet lasketaan kotimaisiksi *Inflation Reduction Actin* (IRA) mukaisesti,⁴⁴⁵ ja maa on solminut kriittisiä akkuminaaleja koskevia sopimuksia Intian kanssa.⁴⁴⁶ Etelä-Korea ja Australia tiivistävät yhteistyötään raaka-ainneiden saralla.⁴⁴⁷ Suomi ja EU osallistuvat Yhdysvaltojen vuonna 2022 perustamaan *Minerals Security Partnership* -aloitteeseen, jonka tavoitteena on kehittää uusia mineraaliprojekteja ja parantaa

439 Van de Graaf & Díaz Gras 2025.

440 Logan & Acheampong 2025; Vandome 2024.

441 European Commission 2024b.

442 Center for Preventive Action 2025; Zimmermann 2024.

443 Zimmermann 2024.

444 Ks. osio *Kiinan raaka-aine- ja teollisuuspolitiikka*.

445 Letzing 2024.

446 Lawder 2024.

447 Ministry of Trade, Industry and Energy 2024.

toimitusketjujen läpinäkyvyyttä,⁴⁴⁸ joskin yhteistyö uhkaa heikentyä Trumpin toisen kauden myötä.⁴⁴⁹

Sekä Kiina että länsimaat käyttävät siis moninaisia geota-loudellisia keinoja mineraalirikkaita maita kohtaan esimerkiksi luvattessaan investointeja, työllisyyden lisäämistä tai kehitystavoit-teiden tukemista. Pyrkimyksenä on saada paikallishallintojen ja yhteisöjen hyväksyntä kaivoshankkeille niiden omien strategisten etujen edistämiseksi. On viitteitä siitä, että mineraalidiploma-tian saralla ollaan siirtymässä yhteistyöhön perustuvista keinoista kohti kilpailullisempia ja sitovampia strategioita, mikä näkyy esi-merkiksi Trumpin asettamissa tulleissa ja Ukrainaan kohdistetussa paineessa mineraalisopimuksen aikaansaamiseksi.⁴⁵⁰ Yhdysvallat on osoittanut entistä aggressiivisempaa kiinnostusta myös Grönlannin raaka-ainevarantoihin.⁴⁵¹

2.8.4 Kiinan raaka-aine- ja teollisuuspolitiikka

Kiinaa käsitellään tässä raportissa erikseen, koska sillä on niin mer-kittävä rooli energiasiirtymän teknologioiden tuotantoketjuissa. **Kiina on saavuttanut johtavan aseman vihreissä teknologioissa** valtion tukipo-litiikan ja yksityisen yrittäjyyden ansiosta. Maa saavutti johtoaseman litiumioniakuissa litiumin hinnan laskun, sähköajoneuvojen valtion-tukien ja strategisen ohjauksen avulla. Aurinko- ja tuulienergiassa kasvua vauhdittivat kysyntäpuolen politiikka, kuten syöttötariffit, lainatakuut ja verohyvitykset sekä julkinen tutkimus- ja kehitystoi-mintaan panostaminen.⁴⁵²

Kiinan teollisuuspolitiikka muokkaa maailman vihreiden tek-nologioiden markkinoita. Suurin osa maailman aurinkopaneeleista tuotetaan Kiinassa, jonka sisäiset markkinat ovat nyt myllerryksessä. Aurinkopaneelien tukkuhinnat ovat viime vuosina romahtaneet, ja samalla uusia tehtaita rakennetaan. Ala on saanut Kiinan pankeista niin paljon lainaa tehtaiden rakentamista varten, että tuotantokapa-siteetti on noin kaksinkertainen koko maailman kysyntään nähden.⁴⁵³ Paneelien vienti globaaliin etelään on kaksinkertaistunut kahden viime vuoden aikana ohittaen viennin globaaliin pohjoiseen.⁴⁵⁴

448 TEM 2023; 2024a; United States Department of State 2024.

449 Buchanan Ponczek 2025.

450 Buchanan Ponczek 2025.

451 Gettleman ym. 2025; Scheyder 2025.

452 Bian ym. 2024; Lewis 2024.

453 Bloomberg News 2024; Bradsher 2024.

454 Jones & Copsey 2025.

Viimeisen vuosikymmenen aikana Kiina on lisännyt voimakkaasti investointejaan ulkomaisiin kaivoksiin, erityisesti akkumetalleihin.⁴⁵⁵ Se hankki puolet vuosina 2018–2022 myydyistä suurista litiumkaivoksista⁴⁵⁶ ja myönsi lähes 57 miljardia dollaria tukea ja tuettuja luottoja alhaisen ja keskitulotason maille kriittisten mineraalien hankkeisiin vuosina 2000–2021. Toiminta painottuu voimakkaasti tuotantoketjun alkupäähän eli louhintaan pikemminkin kuin jalostukseen ja keskityy erityisesti kupariin ja litiumiin, mutta myös kobolttiin, nikkeliin ja harvinaisiin maametalleihin. Kiina myönsi tukea ja lainoja erityisesti 19 maalle, jotka ovat sen Uusi silkkitie -hankkeiden piirissä (*Belt and Road Initiative*, BRI).⁴⁵⁷

BRI:n erilaisten infrastruktuuri- ja kehitysprojektien kautta Kiina laajentaa taloudellista vaikutuspiiriään⁴⁵⁸ ja turvaa raaka-ainneiden saantiaan.⁴⁵⁹ Lähes 150 maata on liittynyt BRI-aloitteeseen allekirjoittamalla yhteisymmärryspöytäkirjan Kiinan kanssa.⁴⁶⁰ Kiina ohitti Yhdysvallat ja EU:n Afrikan suurimpana yksittäisenä kauppa- ja kehitysyhteistyökumppanina vuonna 2009,⁴⁶¹ ja vastaava tilanne pätee Etelä-Amerikassa esimerkiksi Peruun.⁴⁶² Kiina rahoittaa esimerkiksi 7 miljardilla dollarilla infrastruktuurihankkeita Kongon demokraattisessa tasavallassa mineraaleja vastaan.⁴⁶³ Samaan aikaan Kongo pyrkii hajauttamaan kaivosalan omistusta pois kiinalaisilta yrityksiltä.⁴⁶⁴ Peruun avattiin kiinalaisinvestointien avulla suuri satama, joka helpottaa sekä mineraalien että maataloustuotteiden kuljetuksia Kiinan ja Etelä-Amerikan välillä.⁴⁶⁵ Kiina kehittää myös Talibanin kanssa kuparin tuotantoa Afganistaniin⁴⁶⁶ ja litiumkaivosta Venäjälle Kuolan niemimaalle.⁴⁶⁷

Vaikka Kiina on lisännyt uusiutuvan energian investointeja ulkomailla – 22 prosenttia investoinneista kohdistui uusiutuviin vuosina 2010–2019 – valtaosa BRI:n energiainvestoinneista on yhä fossiilisia. Kotimaassa uusiutuvan osuus on sen sijaan selvästi suurempi, eli

455 IEA 2024a; myös Bindman 2023.

456 Kalwasiński 2024.

457 Escobar ym. 2025.

458 Kallio 2022.

459 Malik ym. 2021.

460 Nedopil 2025.

461 Awuah 2019.

462 Baptista ym. 2024.

463 Kavanagh 2024.

464 Kavanagh & Clowes 2024.

465 Baptista ym. 2024.

466 Lu 2024; Shah 2022.

467 Pöyhönen 2024.

77 prosenttia.⁴⁶⁸ Vuosina 2022–2023 Kiina investoi ensimmäistä kertaa enemmän tuuli- ja aurinkoenergiaan kuin hiileen ulkomailla, mutta aiemmin rahoitettuja hiilivoimaloita otetaan edelleen käyttöön.⁴⁶⁹

Kiinan vahva asema mineraalialalla perustuu osin heikkoihin **ympäristöllisiin tai sosiaalisiin standardeihin**.⁴⁷⁰ Esimerkiksi Kongossa, missä Kiina omistaa suurimman osan kaivoksista, jopa 20 prosenttia⁴⁷¹ tai kolmasosa⁴⁷² koboltista voi olla niin sanottujen ”käsityöläisten” pienkaivoksissa tuottamaa. Työskentelyolosuhteet ovat erittäin vaaralliset, eikä suojarusteita usein ole saatavilla.⁴⁷³ Yhdysvaltain työministeriön arvion mukaan 25 000 lasta työskentelee Kongon kobolttikaivoksissa.⁴⁷⁴ Lisäksi Kiina saattaa käyttää pakkotyövoimaa esimerkiksi alumiinin, litiumin, nikkelin ja kuparin tuotannossa.⁴⁷⁵ Silti Kiinan tuottamille raaka-aineille riittää kysyntää.

Kiinan kilpailijoista etenkin Yhdysvallat pyrkii rajoittamaan kilpikumppaninsa vaikutusvaltaa esimerkiksi kehittämällä vaihtoehtoisia kuljetusreittejä Afrikassa ja rahoittamalla mineraali-infrastruktuuria.⁴⁷⁶ Yhdysvaltalais-eurooppalainen konsortio kehittää Angolan raideliikennettä helpottaakseen energiasiirtymän raaka-aineiden kuljettamista Kongosta Atlantin rannikolle.⁴⁷⁷ Trumpin ensimmäisellä kaudella vuonna 2019 perustettu *U.S. International Development Finance Corporation* investoi viiden vuoden aikana yli 50 miljardia dollaria 114 eri maan infrastruktuurihankkeisiin edistääkseen Yhdysvaltojen strategisia etuja, kuten mineraalien saantia ja voimakkaampaa asemaa suhteessa Kiinaan globaalissa etelässä.⁴⁷⁸ Vaikuttaa kuitenkin siltä, että Kiinan investoinnit kriittisten raaka-aineiden hankkeisiin Afrikassa ovat moninkertaiset: vuonna 2023 ne olivat 8–10 miljardia dollaria, kun Yhdysvaltojen vastaavat jäivät noin 300 miljoonaan.⁴⁷⁹

Kiinan on myös raportoitu rakentavan suuria strategisia varmuusvarastoja moninaisista hyödykkeistä ja raaka-aineista, kuten vehnästä, maissista, öljystä ja esimerkiksi kuparista ja nikkelistä. Viirallisia varastotietoja ei enää julkaista. Erään arvion mukaan Kiinan

468 Bian ym. 2024.

469 Surma ym. 2025.

470 Bian ym. 2024.

471 Abbey 2023.

472 Scheyder 2024.

473 Sanderson 2023; Scheyder 2024.

474 Congressional-Executive Commission on China 2023.

475 Ng 2022; Visontay 2024.

476 Baskaran & Schwartz 2025; Wexler & Steinberg 2024.

477 Kavanagh & Clowes 2024; Phillips 2024.

478 Tang 2024.

479 Tucker 2025.

metallivarastojen kartuttaminen vuodesta 2018 lähtien on riittänyt kattamaan vähintään 35–133 prosenttia sen vuotuisesta kysynnästä metallista riippuen.⁴⁸⁰ Samaan aikaan maa on kehottanut ulkomaisia yrityksiä pidättäytymään harvinaisten maametallien varastoinnista uhaten toimitusrajoituksilla.⁴⁸¹ Tämän tutkimuksen haastateltavat arvioivat Kiinan säästelevän strategisesti omia raaka-ainevarojaan tukeutuessaan tuontiin ulkomailta ja ostavan markkinoilta kaiken saatavilla olevan kobolttin, litiumin ja kullan – mahdollisesti seuraavaksi myös kuparin. Myös Euroopan komissio on ehdottanut kriittisten materiaalien ja komponenttien varastointia.⁴⁸² IRENA kuitenkin varoittaa, että varastojen kasvattaminen voi lisätä markkinahäiriöitä ja hidastaa energiasiirtymää etenkin kehittyvissä maissa.⁴⁸³

Useat tätä tutkimusta varten haastatelluista asiantuntijoista kuvailivat **Kiinan harjoittavan polkumyyntiä** (*price dumping*), jolla se horjuttaa kilpailijoiden investointeja energiateknologioiden ja niiden raaka-aineiden valmistukseen. Hintojen keinotekoinen alentaminen estää tuotantokapasiteetin kasvattamista muualla ja varmistaa Kiinan yritysten hallitsevan aseman markkinoilla.⁴⁸⁴ Kiinassa tuotantolaitokset voivat olla myös hyvin suuria, mikä osaltaan vaikeuttaa niitä vastaan kilpailemista markkinahinnoilla. Kiinan kuvattiin ”käyttävän markkinaa poliittiseen vaikuttamiseen”. Vastaavasti yhdysvaltalainen viranomaislähde kuvasi Kiinan tuovan maailmanmarkkinoille niin paljon litiumia, että siitä seurannut hintojen lasku eliminoi kilpailijat pois markkinoilta.⁴⁸⁵ Vuonna 2024 Kiinaan kohdistui 198 Maailman kauppajärjestön (WTO) kauppaan liittyvää tutkimusta, joissa kauppakumppanit syyttivät Kiinaa polkumyynnistä tai laittomista tuista. Määrä oli kaksinkertainen verrattuna edellisvuoteen.⁴⁸⁶ Kiinan teollisuusmalli poikkeaa liberaalista markkinataloudesta: yritykset saavat tukea ilman kannattavuusvaatimuksia, mikä tekee ylituotannosta järjestelmätason ongelman.⁴⁸⁷

Toiset analytiikot ovat huomauttaneet, että on varsin kyseenalaista nähdä puhtaan energian teknologioissa ”ylituotantoa” tilanteessa, jossa edelleen 800 miljoonaa ihmistä on ilman sähköä ja lähes kahdella miljardilla ei ole mahdollisuutta päästöttömään

480 The Economist 2024.

481 McMorro & Leahy 2025.

482 European Commission 2025c; Mattlin ym. 2023.

483 IRENA 2023.

484 Myös Gunter ym. 2025.

485 Goncalves 2024.

486 McMorro & Ding 2025.

487 Gunter ym. 2025.

ruoanlaittoon.⁴⁸⁸ Vaikka Kiinan vihreän teknologian tuotantokapasiteetti auttaa maailmanlaajuisessa energiasiirtymässä, Kiinan merkittävä rooli tarkoittaa myös sitä, että siirtymä kytkeytyy valta-, turvallisuus- ja taloudellisen riippumattomuuden kysymyksiin.⁴⁸⁹

2.8.5 Energiasiirtymä vai strateginen autonomia?

Raaka-aineisiin, komponentteihin ja teknologioihin kohdistuvien kauppapoliittisten toimenpiteiden vaikutuksia energiasiirtymään on seurattu huolestuneina.⁴⁹⁰ Kiinan kaltaisten avaintoimittajien vientirajoitukset voivat nostaa tuotantokustannuksia ja hidastaa vihreän teknologian käyttöönottoa.⁴⁹¹ Trumpin hallinnon tullit nostavat sähköautojen hintoja Yhdysvalloissa, mikä voi heikentää kysyntää.⁴⁹² Kiinalaisten sähköautojen tuonnin rajoittaminen EU:hun voi hidastaa kuluttajille edullisempien sähköautojen saatavuutta EU:n alueella.⁴⁹³ Esimerkiksi osa tämän tutkimuksen haastateltavista oli huolissaan sähköautoihin kohdistuvien tuontitullien vaikutuksesta siirtymän aikatauluun, mutta myös ymmärrystä eri maiden halulle suojella omaa teollisuuttaan löytyi.

OECD:n analyysin mukaan kriittisten materiaalien **vientirajoitukset ovat lisänneet hintavaihteluita ja epävarmuutta markkinoilla.**⁴⁹⁴

Esimerkiksi antimonin hinta nousi 230 prosenttia vuonna 2024.⁴⁹⁵ Myös galliumin ja germaniumin rajoitusten arvioitiin pienentävän Yhdysvaltain bruttokansantuotetta useilla miljardeilla dollareilla.⁴⁹⁶ Toisaalta osa analyytikoista on tulkinnut, että Kiinan vientiraportointivaatimukset ovat yhtä lailla strategista tiedonkeruuta kuin varsinaisia vientiesteitä.⁴⁹⁷

Kiinan ja Yhdysvaltojen välinen geotaloudellinen kilpailu näkyy yritysten toiminnassa. Germaniumin, galliumin, antimonin ja grafiitin vientirajoitukset ovat aiheuttaneet toisille yrityksille haittaa ja toisille hyötyä: Esimerkiksi saksalainen Henkel keskeytti Kiinan antimonin vientirajoituksiin vedoten neljänlaisten liimojen ja voiteluaineiden toimituksen autonvalmistajille marraskuussa 2024. Yhdysvalloissa

488 Tooze 2025.

489 Yan & Jia 2025.

490 Esim. Gabbatiss 2025; Lewis 2024.

491 Patel 2024; Temple 2024.

492 Ferris 2025; Linn & Spiller 2025.

493 Song ym. 2024.

494 Kowalski & Legendre 2023.

495 Lv ym. 2024.

496 Nassar ym. 2024.

497 Hendrix 2024; Patel 2024.

Ford keskeytti sähköautojensa tuotannon Chicagossa sijaitsevassa tehtaassaan magneettipulan vuoksi.⁴⁹⁸ Toisaalta esimerkiksi kanadalaisen grafiittia tuottavan Northern Graphiten tilaukset kasvoivat 50 prosenttia Kiinan lokakuussa 2023 ilmoittamien grafiittirajoitusten jälkeen.⁴⁹⁹ Yhdysvaltojen politiikkatoimet ovat osin johtaneet myös kaupan kiertoreitteihin: tuotteita viedään Kiinasta Yhdysvaltoihin kolmansien maiden kautta, ja osa yrityksistä on siirtänyt toimintojaan Yhdysvaltojen ulkopuolelle rajoitusten kiertämiseksi.⁵⁰⁰

EU pyrkii samaan aikaan vähentämään strategisia riippuvuuttaan ja vahvistamaan omaa tuotantokapasiteettiaan esimerkiksi akkualalla. **Pyrkimykset strategiseen autonomiaan eivät saisi kuitenkaan hidastaa ilmastomuutoksen hillintää**, sillä pidemmällä aikavälillä vihreän siirtymän viivästyminen ja ilmastomuutoksen eteneminen voisivat merkittävästi heikentää EU:n energiaturvallisuutta ja taloudellista kilpailukykyä.⁵⁰¹ Sähköautojen tuontitullit voivat suojella eurooppalaista autoteollisuutta lyhyellä aikavälillä, mutta samalla ne voivat nostaa hintoja ja vähentää kuluttajien mahdollisuuksia siirtyä vähäpäästöisiin ajoneuvoihin.⁵⁰² Asiantuntijat pelkäävät, että globaalisti lisääntyneet kauppakiistat ja niistä seuraavat taloudelliset paineet voivat kannustaa maita lieventämään ilmastotavoitteitaan kilpailukyvyn säilyttämisen nimissä.⁵⁰³ Esimerkiksi EU höllentää liikennesektorin siirtymän aikataulua.⁵⁰⁴ Toiset arvelevat, että kunianhimoisten ilmastotavoitteiden saavuttaminen ylipäätään ilman Kiinaa on käytännössä mahdotonta.⁵⁰⁵

Sähköautoille on annettu suuri rooli EU:n energiasiirtymässä, ja sähköautot aiheuttavatkin elinkaarensa aikana huomattavasti vähemmän päästöjä kuin perinteiset polttomoottoriajoneuvot. Kuitenkin pelkkä sähköautojen yleistyminen ei riitä, jos sähköntuotanto ei kokonaisuudessaan ole päästötöntä⁵⁰⁶ ja jos autokanta kasvaa entisestään. Esimerkiksi jo yli puolet uusista rekisteröidyistä sähköautoista on SUV-luokan autoja eli maastureita, jotka painavat tyypillisesti 200–300 kilogrammaa enemmän kuin keskikokoiset henkilöautot. Mitä suurempi ajoneuvo, sitä enemmän sen valmistamiseen tarvitaan

498 Golson 2025.

499 Lv ym. 2024.

500 Alfaro & Chor 2023; Freund ym. 2023; Reuters 2024b.

501 Esim. EEA 2024a.

502 Gabbatiss 2025; Song ym. 2024.

503 Ks. Gabbatiss 2025.

504 Hartikainen 2025; T&E 2025.

505 Lewis 2024; Song ym. 2024.

506 Hausfather 2019.

perusmetalleja ja kriittisiä raaka-aineita.⁵⁰⁷ Liikennesektorin siirtymän tulisi perustua systeemitason muutokseen ollakseen tehokas, eli myös julkisen ja kevyen liikenteen rooleja tulisi kasvattaa.⁵⁰⁸

2.9 Suomen kaivosteollisuus ja akkuklusteri

Suomella on EU-vertailussa poikkeuksellisen hyvät edellytykset kehittää omavaraista kaivannaisten tuotantoa ja jalostusta. Suomessa tuotetaan useita EU:n kriittisiksi ja strategisiksi määrittelemiä raaka-aineita, ja niihin liittyen vireillä on useita kaivoshankkeita ja malmietsintää. Hankkeita ja tuotantoa kohdistuu esimerkiksi nikkeliin, kupariin, kobolttiin, litiumiin, fosforiin ja platinaryhmän metalleihin. Finnish Minerals Group Oy:n omistaman Soklin hankkeen selvityksen mukaan alue voisi tuottaa jopa 10 prosenttia Euroopan kestopagneeteissa tarvittavista harvinaisista maametalleista vuosittain.⁵⁰⁹ Lisäksi Suomessa on kaivoslaite- ja teknologiaosaamista.⁵¹⁰ Suomen omavaraisuusaste on parantunut viime vuosikymmenellä metallimalmien ja -rikasteiden saralla, sillä tuonnin ja viennin suhde muuttui kymmenessä vuodessa 54:1:stä lähes 4:1:een.⁵¹¹

Kaivostoimialalle on investoitu voimakkaasti Suomessa viime vuosina. Vuonna 2022 alalla toimi 1129 yritystä, joista metallimalmien louhinnassa 35 ja kaivostoimintaa palvelevalla alalla 134 yritystä. Samana vuonna malmia ja sivukiveä louhittiin yhdeksässä metallimalmikaivoksessa – yhteensä 86,6 miljoonaa tonnia,⁵¹² enemmän kuin koskaan aiemmin. Liikevaihto on kasvanut kysynnän ja hintojen nousun vuoksi vuodesta 2018 alkaen, mutta tuotannon volyymi on laskenut. Hiljattain inflaation nousu on kuitenkin laskenut kysyntää, ja yritysten liikevaihdossa näkyi myös raaka-aineiden hintojen lasku vuoden 2023 aikana.⁵¹³

Suomen metallituotanto on EU:n mittakaavassa merkittävää, vaikka osuus globaalista tuotannosta jääkin alle prosenttiin. Suomi on EU:n ainoa tai suurin tuottaja kromin, koboltin, platinan, palladiumin ja nikkelin osalta. Maan mineraaliklusteri painottuu myös metallien

507 Cozzi & Petropoulos 2024.

508 Räisänen ym. 2025.

509 Vasara ym. 2023.

510 TEM 2021; Vasara ym. 2023.

511 GTK 2022.

512 Malmien osuus tästä 33,2 miljoonaa tonnia ja sivukiven 53,4 miljoonaa tonnia.

513 Vasara ym. 2023.

jatkojalostukseen, joka on alan merkittävin toimiala liikevaihdolla mitattuna. Ala on viime vuosina kasvanut merkittävästi. Teollisuuden arvonlisäyksestä suurimman osan muodostaa metalliteollisuus.⁵¹⁴

Aktiivisista yhdeksästä metallimalmikaivoksista **kaksi on kotimaisessa ja loput ulkomaisessa omistuksessa**.⁵¹⁵ Valtion erityisteh-
tävyhtiö Finnish Minerals Group Oy (ent. Suomen Malmijalostus
Oy) kehittää ja omistaa akku- ja kaivosalan hankkeita yhteistyössä
yksityisen sektorin kanssa. Suomalaisten investointien puuttu-
misen vuoksi yhtiöiden enemmistöosakkaina ovat kansainväliset
sijoittajat.⁵¹⁶ Finnish Minerals Group Oy on suurin osakkeenomistaja
metalli- ja kaivosyhtiö Terrafamessa, ja se omistaa myös 20 prosenttia
litiumkaivosyhtiö Keliberistä.⁵¹⁷

**Jatkojalostuksen maana Suomi on kuitenkin edelleen erittäin riippu-
vainen tuontirikasteista.** Ilman rikasteiden tuontia nykyinen metallien
tuotantomäärä ei olisi mahdollinen.⁵¹⁸ Rikasteet ovat kaivostoiminnan
lopputuotetta, josta on erotettu ja poistettu louhitusta materiaa-
lista hyödyntämiseen kelpaamattomat mineraalit, jolloin ne voidaan
jatkojalostaa esimerkiksi metalleiksi tai käyttää muuten teollises-
ti.⁵¹⁹ Esimerkiksi vuonna 2022 Suomessa tuotettiin sinkkiä ja kuparia
noin viisinkertainen määrä, kobolttia kymmenkertainen ja nikke-
liä kaksinkertainen määrä verrattuna kotimaisen kaivostoiminnan
potentiaaliin.⁵²⁰

Vuonna 2022 **metallimalmeja ja -rikasteita tuotiin euromääräi-
sesti** eniten Ruotsista (23 prosenttia), Brasiliasta (13 prosenttia) ja
Kanadasta (10 prosenttia) ja vietiin euromääräisesti eniten Kiinaan
(32 prosenttia), Ruotsiin (24 prosenttia) ja Sveitsiin (17 prosenttia).
Ruotsista tuotiin pääosin rautamalmeja, Brasiliasta kupari- ja nikkeli-
rikasteita ja Kanadasta nikkeli- ja kuparirikasteita. Muita tärkeitä
metallimalmien ja -rikasteiden tuontimaita olivat Portugali, Austra-
lia, Peru ja Ecuador, joista tuotiin yhteensä 55 prosenttia kyseisistä
tuotteista. Myös Serbiasta tuotiin aiempaa enemmän esimerkiksi
kuparimalmeja ja -rikasteita. Kuten todettu, metallimalmien ja -ri-
kasteiden tuonnin euromääräinen arvo on noin neljä kertaa viennin
arvoa suurempi. Tonnimääräisesti tarkasteltuna Suomesta vie-
tiin eniten sinkkirikasteita, nikkelikasteita ja kuparirikasteita,

514 Vasara ym. 2023; myös Hokkanen ym. 2020.

515 Vasara ym. 2023.

516 Valtiontalouden tarkastusvirasto 2024.

517 Sajari 2025.

518 Vasara ym. 2023.

519 TEM 2024a.

520 Vasara ym. 2023.

ja euromääräisesti arvokkain näistä oli nikkeli-rikasteiden osuus (340 miljoonaa euroa), josta 80 prosenttia vietiin Kiinaan.⁵²¹

Kokonaiskuvaa Suomen tuonti- ja vientivirtojen ja oman tuotannon suhteista on vaikea muodostaa. Tullitilastot eivät kerro, kuinka suuri osa vientiin menevistä metallisista raaka-aineista on tuotettu Suomen kaivoksissa. Metallimalmien ja -rikasteiden lisäksi merkittävää ulkomaankauppaa käydään **nikkeli-, koboltti- ja kuparikivellä**, jotka ovat rikasteista valmistettuja välituotteita. Näiden tuonti on kasvanut viime vuosina, ja vuosina 2018–2022 niiden yhteenlaskettu tuonnin arvo oli noin kaksi kolmasosaa metallimalmien ja -rikasteiden tuonnin arvosta. Niiden viennin arvo oli puolestaan lähes kaksi kertaa suurempi kuin kaikkien varsinaisten metallimalmien tai -rikasteiden yhteenlaskettu viennin arvo.⁵²²

Esimerkiksi **kobolttikivi** oli tärkein koboltin raaka-aineiden tuonnin muoto vuonna 2020 (arvo 694 miljoonaa euroa). Vuoden 2014 jälkeen kobolttikiven tuonti- ja vientimaat sekä tonnimäärät on yritysten pyynnöstä salattu tullitilastoista. Vuoteen 2014 saakka suurin osa kobolttikivestä tuotiin Kongon demokraattisesta tasavallasta. Tullin ulkomaankauppatilastojen mukaan **kobolttirikasteet** sen sijaan tuodaan Suomeen pääosin Itävallasta, vaikka vastaavaa vientiä ei näy Itävallan vientitilastoissa eikä Itävallassa ole koboltin kaivostuotantoa.⁵²³ Euroopan komission raportissa koboltin kerrotaan tulevan pääosin Kongon demokraattisesta tasavallasta, mutta tarkempien, luotettavien kauppatietojen kerrotaan puuttuvan.⁵²⁴

Erikseen **akkuklusterin eli akkuarvoketjun suhteen Suomessa on liiketoimintaa sekä arvoketjun alkupäässä että loppupäässä**, ja lisäksi vireillä on hankkeita akkukemikaalien tuotantolaitoksien käynnistämiseksi. Yhtenäisestä akkuarvoketjusta Suomesta puuttuu arvoketjun keskivaihe eli akkukennotehaat, mutta alustavaa esiselvitystä tällaisesta on käynnissä.⁵²⁵ Valvet Automotive Oy:n tytäryhtiö Ioncor tuottaa sähköautojen akkuja sekä Suomessa että Saksassa.⁵²⁶ Myös akkujen kierrätyslaitoksia on muutamia,⁵²⁷ kuten Fortum Battery Recycling Harjavallassa.⁵²⁸ Kiinalaisten yritysten on arveltu muodostavan

521 Vasara ym. 2023.

522 Vasara ym. 2023.

523 Vasara ym. 2023.

524 European Commission 2023d, 9.

525 Valtiontalouden tarkastusvirasto 2024.

526 Vasara ym. 2023.

527 Ks. Vasara ym. 2023, 87.

528 Fortum 2023.

suurimman ulkomaisen sijoittajaryhmän akkualalla Suomessa.⁵²⁹ Esimerkiksi Kotkaan on tekeillä katodiaktiivimateriaalia valmistava tehdas, jonka suurin omistaja on kiinalainen Beijing Easpring Material Technology 70 prosentin omistusosuudella, siinä missä loput 30 prosenttia omistaa Finnish Minerals Group Oy.⁵³⁰ Vuoden 2025 keväällä kiinalaisyhtiö CNGR Advanced Material vetäytyi Haminaan suunnitellusta akkumateriaalitehtaasta vedoten haastavaan markkinatilanteeseen.⁵³¹ Lisäksi syksyllä 2025 uutisoitiin, että valtiosta tulee Valmet Automotiven enemmistöomistaja Yhdysvaltain puolustusministeriön mustalle listalle joutuneen kiinalaisen Contemporary Amperex Technology Limitedin (CATL) sijaan. Samalla akkuliiketoimintaan keskittyvä Valmet Automotiven tytäryhtiö Ioncor siirtyi Finnish Minerals Groupin tytäryhtiöksi.⁵³²

2.9.1 Teollisuuden raaka-ainetarpeet

Suomen teollisuuden raaka-ainetarpeita ja -riskejä on käsitelty muutamissa selvityksissä. Huoltovarmuusorganisaation tilaaman selvityksen⁵³³ perusteella suurin osa kyselyyn vastanneista suomalaisista yrityksistä (43 kpl) oli tunnistanut kriittisiin metalleihin liittyviä toimitusriskejä. Yritykset toimivat pääosin kone- ja metalliteollisuudessa (65 prosenttia). Riskitietoisuudesta huolimatta yritykset luottivat kriittisten metallien saatavuuden jatkumiseen, ja vain viidenneksellä oli riskienhallintasuunnitelma saatavuus- tai hintariskien varalle. Materiaalien korvaaminen todettiin vaikeaksi ja hitaaksi. Saatavuusongelmia oli erityisesti komponenteissa ja suurta hinnannousua magneeteissa. Yritykselle kriittisimmistä metalleista tai metalliyhdisteistä kysyttäessä oli vastauksissa paljon hajontaa. Eniten mainintoja sai kromi, jonka yhdeksän yritystä mainitsi kriittiseksi. Kaksitoista eniten mainittua metallia olivat dysprosium, hopea, koboltti, kromi, kulta, litium, magnesium, neodyymi, niobi, rikki, titaani ja volframi. Metallien lisäksi mainittiin esimerkiksi grafiitti ja magnesiitti. Mikäli metallien hinnat nousisivat yllättäen kymmen- tai satakertaiseksi, suurin osa pyrki siirtämään hinnannousun asiakashintoihin (noin 62 prosenttia vastaajista), ja noin kolmasosa lopettaisi tiettyjen tuotteiden valmistuksen tai myynnin.

529 Sinkkonen & Siddi 2024.

530 Sajari 2025.

531 Finnish Minerals Group 2025; Törnudd 2025.

532 Kolari 2025.

533 Vesa 2017.

Teknologiateollisuus ry tilasi konsulttitoimisto Rambollilta vastaavan selvityksen vuonna 2022. Sen teettämään kyselyyn vastasi 83 Teknologiateollisuus ry:n jäsenyritystä, joista suurin osa oli konepaja- ja metallituoteteollisuudesta. Kriittisimmiksi metalleiksi tai metalliyhdisteiksi tunnistettiin muun muassa koboltti, volframi, magnesiumium, litium ja antimoni.⁵³⁴

Børger ym.⁵³⁵ tarkastelivat Suomen riippuvuutta kolmansien maiden raaka-aineista ja komponenteista vihreän ja digitaalisen siirtymän kannalta. He sovelsivat Euroopan komission menetelmää,⁵³⁶ jossa arvioidaan, missä tuotteissa yrityksillä on heikot mahdollisuudet korvata tuontia kotimaisella tuotannolla tai hajauttaa hankintaa. Selvityksessä ei avattu tarkemmin, miten kaksoissiirtymän raaka-aineet oli valikoitu, eikä siinä huomioitu epäsuoraa tuontiriippuvuutta, jossa Suomi olisi riippuvainen muualta EU:sta tuotavasta tuotteesta, joka olisi kuitenkin alun perin tuotu kolmannesta maasta. Tarkastelu jättää huomiotta lisäksi sen, että tuontiarvoltaan vähäiset tai volyymiltaan pienet tuotteet voivat olla kriittisen tärkeitä joillekin arvoketjuille sekä sen, millaiset omistussuhteet yritysten taustalla vaikuttavat.

Kahdestakymmenestä Suomelle kriittisimmästä tuotteesta kymmenen oli perusmetalleja ja niistä valmistettuja tuotteita, kuusi kemikaaleja tai lääkevalmisteita, kaksi mineraalituotteita ja kaksi arvometalleja, helmiä ja jäljitelmäkoruja. Näissä tuotteissa oli yhtätoista Euroopan Komission kriittisiksi määrittämää raaka-ainetta, joita tarvitaan esimerkiksi kaksoissiirtymän teknologioihin, kuten akkuihin ja tuulivoimateknologioihin. Kahdestakymmenestä kriittisestä tuontiriippuvaisesta tuotteesta seitsemän ovat yhteisiä EU:n kanssa, kun taas 13 koski vain Suomea. Näin ollen EU:n politiikkatoimet parantavat todennäköisimmin kyseisen seitsemän tuotteen saantia (boraatit, kromi, litium, rauta, teräs, beryllium), kun taas lopuille 13 tuotteelle Suomen tulisi kehittää omia toimenpiteitään kriittisten riippuvuuksien vähentämiseksi.⁵³⁷

534 Zhu ym. 2022.

535 Børger ym. 2023.

536 Komission menetelmä perustuu kansainvälisen kauppätietokannan tarkasteluun, josta on ensin identifioitu kaikki EU:n maahantuomat tuotteet (noin 5100 eri tuotetta). Näistä tuotteista valitaan ne, joiden tuonti tapahtuu keskittyneesti vain muutamasta kolmannesta maasta, joiden kolmansista maista tulevan tuonnin osuus on yli 50 prosenttia EU:n kokonaistuonnista ja joita on vaikea korvata EU:n omalla tuotannolla. Tällaisista noin 390 tuotteesta tarkastelua rajattiin edelleen tiettyihin tärkeiksi katsottuihin toimialoihin EU:ssa, muun muassa terveydenhuoltoon, puolustukseen ja uusiutuvaan energiaan. Jäljelle jääneistä 137 tuotetta rajattiin vielä niihin, joissa hajauttamisen ja tuotteen korvaamisen mahdollisuudet ovat rajalliset, jolloin päädyttiin 34 eri tuotteeseen. (Ks. Børger ym. 2023.)

537 Børger ym. 2023.

Tuontiarvoltaan tärkeimpien kahdenkymmenen kriittisimmän tuotteen alkuperämaat olivat Brasilia (50 prosenttia), Kiina (20 prosenttia) ja Yhdysvallat (18 prosenttia). Børger ym. varoittavat, että riippuvaisuus Kiinan tuonnista on Suomelle riski geopolittisten jännitteiden vuoksi. Volyymin perusteella Etelä-Afrikka kattoi 41,6 prosenttia, Yhdysvallat 21 prosenttia ja Turkki 17,3 prosenttia tuonnista.⁵³⁸

Laajemmassa, 76 strategisen tuotteen tarkastelussa (ilman rajausta tuotteisiin, joiden kohdalla suomalaisten yritysten kyky korvata tai hajauttaa tuontia on rajallinen) tärkeimpiä tuontimaita olivat arvon perusteella mitattuna vuonna 2019 Venäjä (57,9 prosenttia tuonnista), Yhdysvallat (8,6 prosenttia), Norja (7,8 prosenttia), Kanada (7,1 prosenttia) ja Kiina (5,4 prosenttia). Volyymin perusteella eniten strategisesti tärkeitä tuotteita tuodaan Senegalista (35,4 prosenttia tuonnista), Meksikosta (20,2 prosenttia), Indonesiasta (15,3 prosenttia), Malesiasta (13,9 prosenttia) ja Valko-Venäjältä (7,1 prosenttia). Børger ym. valitsivat tarkasteluvuodeksi 2019 poissulkeakseen koronapandemian aiheuttamat poikkeamat kaupankäyntiin.⁵³⁹

Merkittävä osa tuonnista Suomeen tapahtuu **kolmansista maista, jotka ovat EU:n kauppasopimusten ulkopuolella** eli joiden kanssa kauppa tapahtuu WTO:n ehdoin. Kaikista tuonnista riippuvaisten 754 tuotteen arvosta 71 prosenttia tuli tällaisista kolmansista maista, samoin strategisesti tärkeistä 76 tuotteesta 71 prosenttia ja vastaavasti 56 prosenttia kaikkein kriittisimmistä kahdestakymmenestä tuotteesta. Børger ym. suosittelevatkin kauppasopimusten laatimista riskien vähentämiseksi.⁵⁴⁰

2.9.2 Venäjän hyökkäyssota ja mineraalikauppa

Børger ym. havaitsivat, että **Venäjä oli strategisesti tärkeiden materiaalien suurin toimittaja** suomalaisille yrityksille kattaen lähes 60 prosenttia tuonnin arvosta. Tuonti painottui perusmetalleihin tai niistä valmistettuihin tuotteisiin sekä kemikaaleihin tai lääkevalmisteisiin. Vuoteen 2022 mennessä riippuvuus kemikaalien tai lääkevalmisteiden tuonnissa oli vähentynyt, eikä Suomi tuonut enää vuoden 2022 jälkipuoliskolla tämän kategorian strategisesti tärkeitä tuotteita. Tuontiriippuvuutta oli edelleen perusmetalleissa tai niistä valmistetuissa tuotteissa. Lisäksi nykyisessä geopolittisessä

⁵³⁸ Børger ym. 2023.

⁵³⁹ Børger ym. 2023.

⁵⁴⁰ Børger ym. 2023.

tilanteessa on ongelmallista, että viidenneksi eniten strategisesti tärkeitä tuotteita tuotiin Suomeen Valko-Venäjältä.⁵⁴¹

Ennen Venäjän aloittamaa hyökkäyssotaa vuonna 2021 **Venäjä oli Suomen kuudenneksi tärkein metallimalmien ja -rikasteiden tuontimaa** euromääräisesti. Tuonti keskittyi rautamalmeihin. Vuonna 2022 metallimalmien ja -rikasteiden tuonti keskeytettiin EU:n asettamien pakotteiden myötä. Pakotteet eivät kuitenkaan koske esimerkiksi nikkeli- eikä kuparikiven kauppaa, ja niiden kauppa kasvoikin vuonna 2022 selvästi edelliseen vuoteen verrattuna. Suomeen nikkelikiveä tuotiin pääosin Venäjältä (1 747 miljoonan euron arvosta vuonna 2022), jolloin nikkelikivi oli tullin tilastojen perusteella arvokain Venäjältä Suomeen tuotu kauppa-artikkeli. Suomesta viedystä kuparikivistä valtaosa on mennyt Venäjälle vuodesta 2020 lähtien.⁵⁴²

Venäjän hyökkäyssota ja energiakriisi nostivat sähkön hintaa ja rajoittivat Suomessa kromirikasteesta valmistettavan ferrokromin tuotantoa, mikä laski kromin tuotantoa 17 prosenttia vuonna 2022.⁵⁴³

Uutislähteiden mukaan Nornickel Harjavalta, joka on osa venäläistä Nornickel-konsernia, jalostaa Venäjällä louhittua nikkelimalmia nikkeliavalmisteiksi Harjavallassa Suomessa. Tehdas toimii venäläisen nikkelin pääasiallisena porttina EU-markkinoille. Harjavallan tehtaalla syntyy välituotteena kuparikiveä, joka viedään takaisin Venäjälle ja jota voidaan hyödyntää myös sotatoteutuksessa. Nornickelin pääjohtaja on Venäjän toiseksi rikkaimmaksi mieheksi arvioitu Vladimir Potanin, joka on muun muassa Yhdysvaltojen ja Kanadan pakotelistoilla.⁵⁴⁴ Valtio-omisteinen Outokumpu myi nikkelitehtaan yhdysvaltalaisille vuonna 2000, jotka puolestaan myivät sen venäläisille vuonna 2007.⁵⁴⁵ Syyskuussa 2024 Venäjä uhkasi rajoittaa uraanin, titaanin ja nikkelin vientiä Eurooppaan,⁵⁴⁶ mutta ei ole toistaiseksi toteuttanut uhkaustaan. EU ei ole myöskään halunnut rajoittaa venäläisten nikkelin tuontia,⁵⁴⁷ vaikka esimerkiksi raaka-alumiinin tuontia aiotaan rajoittaa.⁵⁴⁸

Rambollin kyselyn mukaan suomalaisyritykset hankkivat erityisesti hiiliterästä Ukrainasta ja Venäjältä ennen hyökkäyssotaa. Muutamit yritykset mainitsivat myös nikkelin, kuparin ja alumiinin.

541 Børger ym. 2023.

542 Vasara ym. 2023.

543 Vasara ym. 2023.

544 Peiponen 2024a; 2024b.

545 Nieminen 2024.

546 DW 2024; Leppänen 2024.

547 Esim. Hansens ym. 2023; Toivonen 2024.

548 Peiponen 2025; Ulkoministeriö 2025.

Hankinnat oli vastausten mukaan kuitenkin pysäytetty. Osa oli onnistunut kertomansa mukaan korvaamaan tuonnin EU:n ja Aasian tuonnilla, mutta 15 prosenttia vastaajista kertoi, ettei korvaavia toimituksia ollut löydetty.⁵⁴⁹

2.10 Kriittisten raaka-aineiden ja akkuklusterin hallinta EU:ssa

Euroopan tasolla on laaja kirjo sääntelyä, joka vaikuttaa kriittisten raaka-aineiden käyttöön ja jolla pyritään niitä käyttävien teollisuudenalojen kiertotalouden vahvistamiseen. Lisäksi EU pyrkii eri tavoin tukemaan akkusektorin kehitystä alueellaan.

Komissio esitti vuonna 2020 **kiertotalouden toimintasuunnitelman**, joka keskittyy muun muassa elektroniikkaan, akkuihin ja tekstiileihin.⁵⁵⁰ Mineraalialaa sekä metallien tuotantoa ja jalostusta koskee myös **teollisuuden päästödirektiivi**, joka on tärkein teollisuuden aiheuttamaa pilaantumista sääntelevä EU-säädös.⁵⁵¹ EU:n **nettonollateknologioita koskeva asetus** (*Net-Zero Industry Act*, NZIA) puolestaan pyrkii kehittämään EU:n teollisuuden kilpailukykyä hiilestä irtautumiseen liittyvissä teknologioissa kuten akuissa.⁵⁵² EU:lla on myös **taloudellisen turvallisuuden strategia**, jonka yhtenä osa-alueena on erityisesti vihreän teknologian mutta myös muiden kriittisten toimitusketjujen vahvistaminen.⁵⁵³ **EU:n tuore varastointistrategia** pyrkii osaltaan parantamaan kriittisten materiaalien saantia esimerkiksi perustamalla **EU:n kriittisten raaka-aineiden keskuksen**, joka auttaisi muun muassa yhteishankinnoissa ja koordinoisi strategisia varastoja sekä kokoaisi järjestelmällistä tietoa kriittisten raaka-aineiden arvoketjuista ja markkinoista.⁵⁵⁴

Kriittisiin raaka-aineisiin liittyy oleellisesti vuonna 2023 voimaan tullut **akkuasetus** (ja sitä edeltänyt vuoden 2006 akkudirektiivi), joka pyrkii varmistamaan akkujen kysynnän kasvun ympäristökäytävyyden. Akkuasetus huomioi akkujen koko elinkaaren, mukaan lukien akkujen uudelleenkäyttö, käyttötarkoituksen muuttaminen ja niiden kierrätys. Asetuksessa otetaan asteittain vuodesta 2025 alkaen

549 Zhu ym. 2022.

550 Eurooppa-neuvosto & Euroopan unionin neuvosto 2024; Euroopan unionin neuvosto 2020.

551 Eurooppa-neuvosto & Euroopan unionin neuvosto 2025b.

552 European Commission n.d.a

553 European Commission 2023f.

554 European Commission 2025c; 2025d.

käyttöön esimerkiksi sähköajoneuvojen ja kevyiden kulkuneuvojen ja ladattavien teollisuusakkujen hiilijalanjälkeä koskevat ilmoitusvaatimukset, suorituskysylyluokat ja enimmäisrajat. Vastaavasti asteittain otetaan käyttöön kierrätystehokkuutta, materiaalien talteenottoa ja akuissa käytettävien raaka-aineiden kierrätyspitoisuutta koskevat tavoitteet. Erityisesti kriittisten raaka-aineiden, kuten kobolttin, litiumin ja nikkelin kohdalla tavoitellaan korkeaa hyödyntämisastetta. Esimerkiksi kierrätettyä kobolttia tulisi akusta olla 16 prosenttia ja litiumista ja nikkelistä 6 prosenttia kahdeksan vuoden kuluttua akkuasetuksen voimaantulosta. Akkuihin liitetään digitaalinen akkupassi tai QR-koodiin pohjautuva tietojärjestelmä, jonka avulla akun valmistuksesta, suorituskyvystä ja koostumuksesta saa helposti tietoa. Lisäksi akkuraaka-aineiden hankintaa tulevat koskemaan asianmukaisen huolellisuuden (*due diligence*) vaatimukset vuonna 2027, eli raaka-aineiden tuotantoketjujen tulee olla sosiaalisesti ja ympäristöllisesti kestäviä.⁵⁵⁵

Vuonna 2017 perustettiin Euroopan akkuallianssi (*European Battery Alliance*) edistämään akkuteollisuuden investointeja. Akkualan investointeja tuetaan EU:n valtiontukisääntöjen puitteissa: komissio on hyväksynyt kaksi suurta tukihanketta, joiden julkinen rahoitus on yhteensä 6,1 miljardia euroa ja joiden odotetaan tuovan 14 miljardin euron yksityiset investoinnit. Vuonna 2023 otettiin lisäksi käyttöön väliaikaiset tukitoimet akkujen ja muiden strategisten teknologioiden tuotannon edistämiseksi vuoden 2025 loppuun saakka. EU on tukenut akkusektoria taloudellisesti muun muassa Horisontti Eurooppa -ohjelman, Euroopan aluekehitysrahaston sekä elpymis- ja palautumistukivälineen kautta.⁵⁵⁶

Ekosuunnitteluasetus tuli voimaan heinäkuussa 2024, ja se korvaa asteittain ekosuunnitteludirektiivin. Ekosuunnittelu tarkoittaa sitä, että jo tuotteiden suunnitteluvaiheessa otetaan huomioon ympäristönäkökulma. Ekosuunnittelu laajenee uuden asetuksen myötä energiantensiivisistä tuotteista (esim. jääkaapit ja lämmityslaitteet) niin, että se koskee muutakin kuin tuotteiden käyttämää energiaa, ja sitä sovellettaisiin lähes kaikkiin EU:n alueella myytäviin tuotteisiin (ei kuitenkaan elintarvikkeisiin, rehuun tai lääkkeisiin). Tuotteille asetetaan vaatimuksia liittyen niiden kestävyys, korjattavuuteen, energiatehokkuuteen ja kierrätykseen. Tuotteisiin on tarkoitus liittää digitaalinen tuotepassi, joka helpottaa tiedon saatavuutta

555 Directorate-General for Environment 2023; Euroopan unionin neuvosto 2025; YM 2023.

556 Ragonnaud 2025.

tuotteen elinkaaren aikaisesta ympäristökuormituksesta. Näin ollen tuotteiden sisältämät kriittiset raaka-aineet ovat tämän asetuksen vaikutuspiirissä.⁵⁵⁷

EU hyväksyi myös vuonna 2017 **konfliktimineraaliasetuksen**⁵⁵⁸, jolla se pyrkii puuttumaan ihmisoikeusloukkauksiin niin sanottujen konfliktimineraalien eli tinan, tantaalin, volframin ja kullan toimitusketjuissa.

EU:n kriittisten raaka-aineiden arviointi aloitettiin osana vuoden 2008 EU:n raaka-ainealoitetta. Ensimmäinen **lista kriittisistä raaka-aineista** julkaistiin vuonna 2011, ja sitä on päivitetty joka kolmas vuosi. Jatkossa listaa on tarkoitus päivittää kahden vuoden välein.⁵⁵⁹ Listat toimivat dynaamisena työkaluna, jotka suuntaavat politiikkatoimia ja ohjauskeinoja lueteltuihin raaka-aineisiin.⁵⁶⁰ *Kriittiset raaka-aineet* ovat raaka-aineita, joilla on suuri taloudellinen merkitys EU:lle ja joihin kohdistuu suuri toimituskatkosten riski, kun taas *strategiset raaka-aineet* ovat lisäksi tärkeitä energiamurrokselle, digitalisaatiolle, ilmailu- ja avaruusalalle ja puolustukselle. Lisäksi strategisten raaka-aineiden tulevan kysynnän odotetaan ylittävän niiden tarjonnan, ja niiden tuotannon lisääminen on todettu haastavaksi. Vuonna 2023 kriittisiksi todettiin 34 raaka-ainetta, joista 17 luokiteltiin myös strategisiksi.⁵⁶¹ EU:n kriittisten ja strategisten materiaalien toimitusriskien arviointi ei paljasta, kuinka keskittynyttä projektien tai tuotantokapasiteetin *omistus* todellisuudessa on.⁵⁶²

EU:n tärkein raaka-aineita koskeva asetusta on **kriittisten raaka-aineiden asetusta** (*Critical Raw Materials Act*, CMRA), joka astui voimaan 23.5.2024. EU:n tavoitteena on turvata teollisuuden raaka-aineiden arvoketjuja vähentämällä niihin liittyviä riippuvuuksia toimitusten monipuolistamisella, oman tuotannon lisäämisellä, kiertotaloutta kehittämällä sekä etsimällä vaihtoehtoja niukoille raaka-aineille. Tämän sääntelyn piiriin eivät sisälly energia- ja maatalousraaka-aineet.⁵⁶³ Vuonna 2020 EU perusti myös **raaka-aineallianssin (ERMA)**, joka tähtää sidosryhmien yhteensaattamiseen ja kriittisten raaka-aineiden arvoketjujen kehittämiseen EU:ssa.⁵⁶⁴ Vuoden 2025 lopussa komissio hyväksyi **ResourceEU-toimintasuunnitelman**, jolla pyritään

557 Suikkanen & Turunen 2023; TEM 2024b.

558 Regulation EU 2017/821.

559 Vasara ym. 2023.

560 Suikkanen & Turunen 2023.

561 Carrara ym. 2023; European Commission 2023d.

562 Ks. lisää osio *Yritysten kotipaikat ja osakkeenomistajien määräysvalta*.

563 European Commission 2023d.

564 European Commission 2021b.

nopeuttamaan CRMA-tavoitteiden saavuttamista erityisesti akkujen, harvinaisten maametallien ja puolustustarvikkeiden raaka-aineiden suhteen. Toimintasuunnitelman puitteissa komissio aikoo esimerkiksi ehdottaa rajoituksia kestopagneettien romun ja jätteiden viennille EU:sta ja perustaa CRM-rahoituskeskuksen koordinoimaan strategisesti rahoitustukea, tarjoamaan teknistä apua hankkeiden toteuttajille ja kansallisille hallinnoille sekä nopeuttamaan hankkeiden kehittämistä.⁵⁶⁵

CMRA:han sisältyy joukko strategisiin raaka-aineisiin liittyviä **kunnianhimoisia tavoitteita**: vuoteen 2030 mennessä 10 prosenttia EU:n vuotuisesta materiaalikulutuksesta louhitaan ja 40 prosenttia jalostetaan EU:ssa, siinä missä 25 prosenttia on peräisin kierrätysmateriaaleista ja enintään 65 prosenttia kunkin strategisen materiaalin vuotuisesta kulutuksesta on peräisin yhdestä yksittäisestä kolmannelle maasta.⁵⁶⁶ Käytännössä asetus pyrkii muun muassa sujuvoittamaan strategiseksi katsottujen hankkeiden lupamenetelyitä, kehittämään raaka-aineiden tuotantoketjujen riskien seurantaa sekä parantamaan raaka-aineiden uudelleenkäyttöä.⁵⁶⁷ Esimerkiksi kaivannaisjätealueiden hyödyntämistä tulee kartoittaa ja kestopagneettien raaka-ainesisältöä koskee ilmoitusvelvollisuus. Jäsenmaiden tulee laatia kansallinen malminetsintäsuunnitelma, ja Euroopan laajuista raaka-aineiden tietopääomaa pyritään yhtenäistämään yhteisen luokittelun avulla.⁵⁶⁸

CMRA korostaa myös tarvetta tiivistää yhteistyötä kolmansien maiden kanssa, jotta EU:n raaka-aineiden saanti maailmanmarkkinoilla turvataan. EU harjoittaa niin sanottua **raaka-ainediplomatiaa** ja solmii esimerkiksi vapaakauppasopimuksia ja ”strategisia kumppanuuksia”, joiden avulla se pyrkii monipuolistamaan kriittisten raaka-aineiden toimitusketjuja.⁵⁶⁹ EU ja Serbian tasavalta ovat esimerkiksi allekirjoittaneet yhteisymmärryspöytäkirjan, jolla käynnistetään kestäviä raaka-aineita, akkujen arvoketjuja ja sähköajoneuvoja koskeva strateginen kumppanuus.⁵⁷⁰ EU on tukenut Serbiassa esimerkiksi kiisteltyä Rio Tinton litiumhanketta, jotta eurooppalaiset autonvalmistajat saisivat litiumia.⁵⁷¹

565 Ks. European Commission 2025d.

566 European Commission n.d.b.

567 TEM 2024c.

568 Ks. GTK 2024; myös Suikkanen & Turunen 2023; Vasara ym. 2023.

569 Ks. osio *Raaka-ainediplomatiaa*.

570 European Commission 2024c.

571 Hajdari 2024.

CMRA:ta ja NZIA:ta on kritisoitu siitä, että erilaiset strategisten hankkeiden sujuvoittamistoimet voivat huonontaa ympäristönsuojelun tasoa paikallisesti. Huolimatta yleistavoitteesta, jonka mukaan ympäristönsuojelun tasosta ei saa tinkiä, CMRA ja NZIA mahdollistavat ympäristödirektiiveissä, kuten luonto- ja lintudirektiivissä ja vesipuitedirektiivissä säädettyjen poikkeussäännösten soveltamisen ”yleisen edun” nimissä. Riskinä on ympäristön laatustandardien heikentyminen samalla kun ajetaan ilmastotavoitteiden saavuttamista, mikäli lupaprosessien määräaikojen puitteissa ei ole mahdollista suorittaa kattavia arviointoja. Ympäristönormien poikkeussäännösten soveltamisessa on myös riski siitä, että kadotetaan kuva päästökuorman kokonaisvaikutuksesta. Lupaprosessien sujuvoittamiseen liittyvä puolestaan riski siitä, että jäsenmaa, jonka ympäristölupaprosessit sisältävät vähiten vaatimuksia, houkuttelee eniten investointeja, mikä puolestaan laskee lupamenettelyiden standardia. Ei myöskään ole yksiselitteistä, että ympäristölupajärjestelmän sujuvoittaminen johtaisi globaaleihin, positiivisiin ympäristövaikutuksiin. Esimerkiksi strategisten projektien positiivisia ilmastovaikutuksia ei arvioida osana lupaprosessia.⁵⁷²

2.10.1 Kiertotalous ja kierrätys

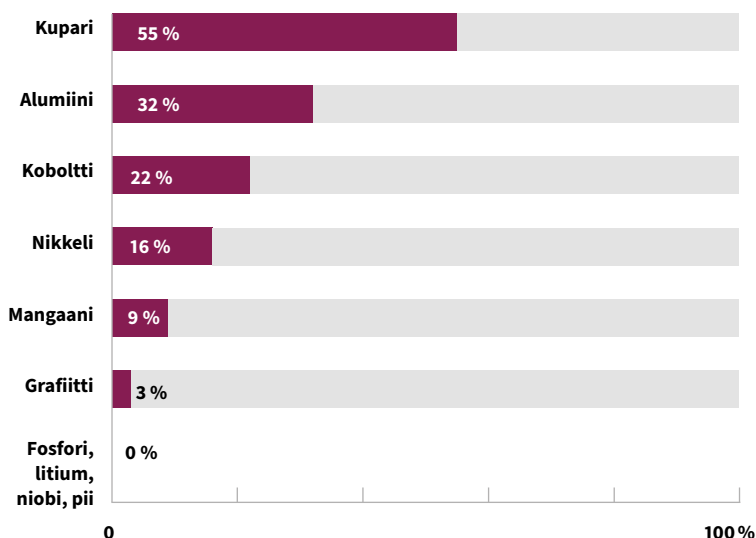
Tätä tutkimusta varten haastatellut asiantuntijat tunnistavat kierrätyksen ja laajemmin kiertotalouden tärkeäksi osaksi raaka-aineiden riittävyyden ja saannin turvaamista kestävästi. Monet kuitenkin kuvasivat yksityiskohtaisesti, miten käytännön toteutus kohtaa sekä teknisiä, taloudellisia että poliittisia esteitä. Tällä hetkellä kierrätys toimii parhaiten arvokkaiden metallien kohdalla, kuten kuparissa ja alumiinissa, mutta useat kriittiset materiaalit – kuten litium ja harvinaiset maametallit – kiertävät huonosti tai eivät lainkaan. Ongelmia aiheuttavat esimerkiksi raaka-aineiden pienet pitoisuudet tuotteissa, tuotteiden pitkät kiertoajat (esim. akuissa), neitseellisten raaka-aineiden edullisuus, materiaalien hajautunut käyttö ja teknologioiden epästandardisuus, mikä vaikeuttaa purkua ja materiaalien erotusta. Lisäksi kierrätysmateriaalien kerääminen ja käsittely on usein kallista ja volyymit pieniä, erityisesti Suomessa, missä pitkät välimatkat tekevät logistiikasta kallista.⁵⁷³

Useiden kriittisten raaka-aineiden kierrätys on alhaisella tasolla. EU:ssa kierrätetään 55 prosenttia kuparista, 32 prosenttia alumiinista/

572 Ala-Lahti 2024; Ala-Lahti & Turunen 2025.

573 Ks. myös Hokkanen ym. 2020; Suikkanen & Turunen 2023.

Kiertotalous ja kierrätys



Kuva 8. Kierrätyksen osuus eräiden akkumateriaalien kysynnästä (%), eli osuus, joka voidaan kattaa kierrätetyillä raaka-aineilla. Lähde: European Commission 2023d; Halleux 2024.

bauksiitista, 28 prosenttia antimonista, 22 prosenttia koboltista ja 16 prosenttia nikkelistä.⁵⁷⁴ Globaalisti kierrätysmateriaalien käyttö ei ole pysynyt materiaalien kulutuksen kasvun vauhdissa, eli esimerkiksi kierrätetyn kuparin osuus kokonaiskysynnästä laski 37 prosentista vuonna 2015 33 prosenttiin vuonna 2023, ja vastaavasti kierrätetyn nikkelin osuus laski samana aikana 33 prosentista 26 prosenttiin. Alumiinin kierrätysosuus kasvoi 32 prosentista 35 prosenttiin.⁵⁷⁵ On arvioitu, että tarvittaisiin lisää velvoittavaa lainsäädäntöä kriittisten raaka-aineiden kiertotalouden suhteen, mikäli kiertotalouden halutaan toteutuvan.⁵⁷⁶ Kierrätyksellä voitaisiin vähentää tarvetta avata uusia kaivoksia jopa noin 25 prosenttia litiumin ja nikkelin osalta ja 40 prosenttia kuparin ja koboltin suhteen vuoteen 2050 mennessä ilmoitettujen sitoumusten skenaariossa (APS).⁵⁷⁷ APS-skenaariossa oletetaan, että hallitukset täyttävät kokonaisuudessaan ja ajallaan kaikki

⁵⁷⁴ Ks. European Commission 2023d, 11; myös Halleux 2024.

⁵⁷⁵ IEA 2025c.

⁵⁷⁶ Ks. Suikkanen & Turunen 2023.

⁵⁷⁷ IEA 2025c.

ilmoittamansa ilmastositoumukset.⁵⁷⁸ Kierrätetyn nikkelin, koboltin ja litiumin kasvihuonekaasupäästöt ovat keskimäärin 80 prosenttia pienemmät kuin neitseellisen raaka-aineen.⁵⁷⁹

Suomi kuluttaa tällä hetkellä edelleen eniten luonnonvaroja Euroopassa asukasta kohden,⁵⁸⁰ ja Suomi on muuta Eurooppaa jäljessä sekä kierrätys- että kiertotalousasteen kehityksessä. Suomen resurssitehokkuus on lisäksi EU:n alhaisimpia. Suomi saa vähemmän taloudellista arvoa käytetyistä materiaaleista (0,97 euroa kulutettua materiaalikiloa kohden) kuin EU-maat keskimäärin (2,23 euroa kulutettua materiaalikiloa kohden). Suomessa syntyy vuosittain myös noin 90 miljoonaa tonnia kaivannaisjätettä, mikä vastaa noin 75 prosenttia kaikesta vuosittain tuotetusta jätteestä.⁵⁸¹ Suomessa on kuitenkin myös teollisen mittakaavan kiertotaloutta esimerkiksi Outokummun ruostumattoman teräksen tuotantolaitoksessa, joka käyttää yrityksen mukaan 90 prosenttia kierrätettyä terästä raaka-aineenaan.⁵⁸²

Kiertotalouteen perehtyneet haastateltavat kuvasivat, että kierrätetyn materiaalin käytölle tarvitaan voimakkaampia ohjauskeinoja ja esimerkiksi velvoittavaa sääntelyä. Todelliset ympäristökustannukset eivät vielä näy tuotteiden hinnoissa, ja neitseellisten materiaalien halpa hinta suhteessa kierrätykseen estää tehokkaan markkinan muodostumisen. Sääntely kaipaa merkittäviä uudistuksia, sillä pelkät numeeriset kierrätystavoitteet eivät riitä ilman politiikkatoimia, jotka muuttavat yritysten toimintaympäristöä. Myös tuotesuunnittelun ja ekosuunnittelun merkitys korostuu – tuotteet tulisi alusta alkaen kehittää helposti purettaviksi, uudelleenkäytettäviksi ja kierrätettäviksi. Kierrätys on vain yksi osa kiertotaloutta: sen rinnalle tarvitaan voimakkaampaa panostusta tuotteiden korjattavuuteen, uudelleenkäyttöön ja elinkaaren pidentämiseen. Kiertotalouden onnistuminen vaatii laajaa systeemistä muutosta – infrastruktuurin, teollisuuden, kulutuksen ja sääntelyn yhteispeliä.

Mineraalien kierrätys voi nousta keskeiseksi strategisessa kilpailussa.

Kriittisten raaka-aineiden elinkaari eroaa fossiilisten polttoaineiden elinkaaresta ja ajallisesta profiilista merkittäväällä tavalla: mineraaleja ja metalleja voitaisiin, jos niitä sisältävät tuotteet on suunniteltu hyvin, käyttää uudelleen useita kertoja niin, että ne pysyvät kierrossa, toisin kuin öljyä, kivihiiltä ja kaasua. Niinpä vähäpäästöisiin

578 IEA 2025b.

579 IEA 2025c.

580 EEA 2025b.

581 Kuusela & Ropponen 2025; Nikula 2025; Vasara ym. 2023.

582 Outokumpu 2025; ks. myös osio *Suomen kaivosteollisuus ja akkuklusteri*.

energiajärjestelmiin liittyy laadullisesti erilaisia materiaalien hallinnan ja politisoitumisen kysymyksiä. Esimerkiksi jos materiaalien kierrätys vielä tulevaisuudessaan kehittyy edelleen, voi kierrätysmateriaalista tulla kilpailtu resurssi.⁵⁸³

Useat maat ovatkin ryhtyneet toimiin romumetallien ja kierrätettävien raaka-aineiden virtauksen valvomiseksi osana strategista vastaustaan luonnonvarojen turvaamiseen, hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen ja geopoliittisiin jännitteisiin. Näihin toimiin voi kuulua vientirajoituksia, tukia, pakollisia kierrätyskiintiöitä ja kotimaisia jalostuskannustimia. Esimerkiksi Intia rakentaa infrastruktuuria litiumioniakkujen ja elektroniikan kierrätystä varten ja on poistanut tullimaksut useiden kriittisten mineraalien jätteistä ja romusta parantaakseen niiden saatavuutta kotimaiseen tuotantoon.⁵⁸⁴ Venäjä otti käyttöön vientitullit (2021–2023) rajoittaakseen teräs- ja kupariromun vientiä maasta.⁵⁸⁵ Kiina on tiukentanut laatuvaatimuksia esimerkiksi kuparia sisältävän kierrätysmateriaalin maahantuonnissa.⁵⁸⁶

Yhteiskunnan energiasiirtymää edistettäessä puhtaat teknologiat ja niiden käyttöönotto ovat yleensä keskiössä. Tämän lisäksi olisi kuitenkin elintärkeää edistää ajattelutapojen ja käyttäytymisen muutosta, mikäli tavoitellaan pitkän aikavälin kestävyyttä erityisesti saastumisen ja luonnonvarojen käytön näkökulmista.⁵⁸⁷ Myös osa tämän tutkimuksen haastateltavista nosti esiin, että kysynnän vähentämiseen tulisi tähdätä nykyistä voimakkaammin sekä sähkönkulutuksessa että materiaalien kulutuksessa. Luonnonvarojen (fossiilisten polttoaineiden, mineraalien, ei-metallisten mineraalien ja biomassan) louhinta ja jalostus aiheuttavat tällä hetkellä yli 55 prosenttia kasvihuonekaasupäästöistä. Suurituloiset maat käyttävät kuusi kertaa enemmän materiaaleja henkeä kohti ja ovat vastuussa kymmenen kertaa suuremmista ilmastovaikutuksista henkeä kohti kuin pienituloiset maat.⁵⁸⁸ Muutamat haastateltavat huomauttivat, että kulutuksen vähentäminen voisi olla yksi keino kasvattaa omavaraisuutta kriittisissä raaka-aineissa.

583 Kuzemko ym. 2024.

584 Arora 2025; Reuters 2025.

585 Schmidt 2022.

586 Shanghai Metals Market 2025b.

587 EEA 2024b.

588 UNEP 2024.

2.11 Varautumisen keinoja

- Omavaraisuustoimet on toteutettava siten, etteivät ne hidasta energiasiirtymää ja siten heikennä varautumista pitkällä aikavälillä.
- Raaka-aineiden kokonaiskulutuksen vähentäminen ja sen laadullisen kestävyysparantaminen tukisivat sekä kestävyystavoitteita että huoltovarmuutta.
- Energiateknologioiden arvoketjujen kotimaisuusastetta voisi kasvattaa, mukaan lukien raaka-aineiden tuotantoa.
- Raaka-aineiden tuotannon laajentamista on edistettävä toimilla, jotka vahvistavat sosiaalista hyväksyttävyyttä ja oikeudenmukaisuutta.
- Huoltovarmuuskeskuksen tulisi selvittää kriittisten raaka-aineiden varmuusvarastointia.
- Yritykset voivat hajauttaa ja pienentää toimitushäiriöriskejään toimittajien monipuolistamisella, varastoinnilla sekä materiaalien käytön tehostamisella ja kierrättämisellä.
- Huoltovarmuuskeskus voi tukea ilmastovaikutuksiin liittyvää ennakkointityötä kriittisten materiaalien seurantaryhmässä.

Energiasiirtymä on paitsi teknologinen myös geopolittinen ja taloudellinen muutosprosessi, joka nojaa vahvasti kriittisten raaka-aineiden ja komponenttien saatavuuteen. Siksi toimitusketjujen häiriöihin varautuminen on keskeinen osa siirtymän kestävyyttä ja huoltovarmuutta. Samalla on kuitenkin muistettava, että **strategisen autonomian vahvistaminen ei saa johtaa globaalin energiasiirtymän hidastumiseen**. Jos kansalliset omavaraisuustoimet jarruttavat vihreän teknologian käyttöönottoa maailmanlaajuisesti, seurauksena on uusia riskejä ilmastomuutoksen etenemisen muodossa.

Toinen keskeinen jännite, joka kriittisiin raaka-aineisiin liittyy, on niiden tuottamisen aiheuttamat väistämättömät luontohaitat samalla kun strategisena tavoitteena on tuotannon lisääminen. Nykyinen keskustelu ja politiikkatoimet painottuvat voimakkaasti toimitusvarmuuteen ja raaka-aineiden saatavuuden lisäämiseen, mutta huomattavasti vähemmän siihen, kuinka niiden kulutusta voitaisiin vähentää tai miten voitaisiin irtautua kokonaan joidenkin materiaalien käytöstä. **Raaka-aineiden kokonaiskulutuksen vähentäminen ja sen laadullisen kestävyysparantaminen helpotaisi huoltovarmuuden turvaamista**. Strategioiden valmistelu on ollut monin paikoin siiloutunutta, jolloin niiden yhteensovittaminen

luontotavoitteiden ja resurssirajojen kanssa jää puutteelliseksi. Tällainen ristiriita strategisten tavoitteiden välillä vaikeuttaa kestävän raaka-ainepolitiikan kokonaisohjausta. Raaka-aineiden käytön vähentäminen tukisi sekä kestävyystavoitteita että toimitusketjujen varmistamista.

Kirjallisuudessa ja haastatteluaineistossa tunnistetaan monia kriittisten raaka-aineiden **tuotantoketjuihin kohdistuvia varautumisen toimia**, joissa on eri aikajänteitä ja toimijatasoja aina yrityksistä valtioliseen päätöksentekoon.⁵⁸⁹ Keinot voivat olla **interventionistisia**, kuten julkisia investointeja, varmuusvarastointia ja ulkomaisten investointien sääntelyä; **liberalistisia**, kuten kauppasopimuksia ja avoimien markkinoiden hyödyntämistä, tuotantoketjujen monipuolistamista ja EU:n sisämarkkinoiden kehittämistä; **teknologisia**, kuten materiaallitehokkuuden lisäämistä, kierrättämisen ja korvaavien materiaalien kehittämistä; sekä **tiedollisia keinoja**, jotka tähtäävät riskien tunnistamiseen, tiedon jakamiseen ja yhteisen strategisen ymmärryksen rakentamiseen. Strategista omavaraisuutta kasvattavat toimet voivat tuoda merkittäviä kustannuksia sekä julkisille toimijoille, yrityksille että kuluttajille, ja onkin ilmeistä, että tukitoimia ja kannustimia tarvitaan, jos toimitusketjuista halutaan tehdä resilientimpiä.⁵⁹⁰ Kunkin toimen kohdalla on kuitenkin arvioitava tarkasti, mikä on sen vaikutus globaalin energiasiirtymän aikatauluun, kuten ylempänä todettiin.

Kotimaisen raaka-ainetuotannon kasvattaminen – sekä kaivos-toiminnan että kierrätyksen kautta – on raaka-aineiden riittävyyden näkökulmasta perusteltua.⁵⁹¹ Osa haastateltavista korosti, että teollisuuden raaka-ainehuoltoa tulisi tarkastella kokonaisvaltaisesti niin, että pyritään varmistamaan koko arvoketjun toimivuus ja edistämään sen kotimaisuusastetta – aina raaka-aineiden tuotannosta ja jalostuksesta tuotteiden valmistukseen ja kierrätykseen. Kriittisten raaka-aineiden tuotannon lisäämistä tavoiteltaessa on muistettava, että sosiaalinen hyväksyttävyys ja ympäristöllinen kestävyys ovat tuotannon lisäämisen edellytyksiä. Aito vuorovaikutus paikallisyhteisöjen kanssa, koko arvoketjun läpinäkyvyyden edistäminen sekä kaivosten teknisten rakenteiden parantaminen ja vesistö päästöjen minimointi ovat kaikki keinoja hyväksyttävyyden vahvistamiselle.⁵⁹² Tuotantoa lisättäessä tulisi samalla myös vähentää raaka-aineiden

589 Esim. Breslin ym. 2024; DebRoy ym. 2025; Mattlin ym. 2023.

590 Breslin ym. 2024; Mattlin ym. 2023.

591 Esim. Eilu ym. 2021; GTK 2025a.

592 Ks. osio *Vastuullisuus ja sosiaalinen toimilupa*.

kokonaiskulutusta sekä priorisoida raaka-aineiden käyttöä nimenomaan energiasiirtymän edistämiseen.

Kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden varmuusvarastointi on yksi keino varautua tuotantoketjujen häiriöihin. HVK voisi koordinoida kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden **varmuusvarastointia**.⁵⁹³

Poliittiset päättäjät voivat auttaa vähentämään raaka-aineisiin ja komponentteihin liittyviä toimitusriskejä esimerkiksi huolehtimalla riittävästä **tutkimus- ja kehitystyön rahoittamisesta**. Myös suomalaisen materiaali- ja teknologiaosaamisen kartoittaminen ja sen tukeminen nähtiin tärkeänä osana huoltovarmuutta. Suomalaista geotieteen ja mineraalitekniikan osaamista tulisi hyödyntää erityisesti mineraalien kiertotalouden ja vastuullisuuden kehittämiseen.⁵⁹⁴ Myös alan koulutukseen tulisi panostaa, jotta alalle riittää työvoimaa.⁵⁹⁵

Toimitusriskejä voi yrittää vähentää myös varmistamalla raaka-aineiden tuonnin edellytyksiä **kauppasopimusten ja kansainvälisen yhteistyön** avulla.⁵⁹⁶ Pohjoismainen yhteistyö kriittisten raaka-aineiden tuotannossa voisi vahvistaa Suomen ja koko alueen huoltovarmuutta.⁵⁹⁷ Jotkut haastateltavista mainitsivat lisäksi EU-tason yhteistyön lisäämisen raaka-aineiden osalta.

Haastateltavista useat peräänkuuluttivat **vahvempaa lainsäädännöllistä kehystä** esimerkiksi kiertotalouden suhteen: taloudellisia kannustimia tulisi uudistaa niin, että luontovaikutukset tulisivat hinnoitelluiksi. Tarvittaisiin myös innovaatioita luonnonvarojen kokonaiskäytön vähentämiseksi sekä kriittisten raaka-aineiden tuotannon ja jalostuksen päästöjen minimoiseksi.⁵⁹⁸ GTK on ehdottanut, että tulisi tarkastella mahdollisuuksia ottaa talteen malmeista ja rikasteista sellaisia metalleja, joita ei nykyisin hyödynnetä täysimääräisesti, kuten antimoni, gallium, germanium, grafiitti, indium, niobium, skandium, tantaali, telluuri, vanadiini, vismutti ja harvinaiset maametallit.⁵⁹⁹

EU voisi hyödyntää markkina-alueensa vetovoimaa ohjatakseen investointeja kestävämpiin toimitusketjuihin. Sebastian ja Boullenois sekä Tagliapietra ym. ehdottavat, että kiinalaisiin sähköajoneuvosektorin investointeihin ei tulisi suhtautua kategorisen kielteisesti, vaan niitä tulisi ohjata EU:n kestävyys-, teollisuus- ja turvallisuustavoitteita

593 Vesa 2017.

594 Ks. GTK 2025b.

595 DebRoy ym. 2025.

596 Esim. Børger ym. 2023; GTK 2025a; Wigell ym. 2022.

597 Børger ym. 2023; myös Eilu ym. 2021.

598 Ks. myös DebRoy ym. 2025; Eilu ym. 2021; Qarahasanlou ym. 2024.

599 GTK 2022.

tukeviksi. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi käyttämällä ei-hin-
taperusteisia kriteerejä kestävyiden ja resilienssin edistämiseksi;
ehdollistamalla tukia ja valtionrahoitusta strategisiin investointeihin;
vahvistamalla kyberturva- ja datanhallintasääntöjä; sekä luomalla
EU-tasoinen kehys vihreiden investointien seurantaan ja ohjaamiseen.
Nykytilassa jäsenmaiden kansalliset strategiat poikkeavat toisistaan,
mikä heikentää EU:n vipuvoimaa.⁶⁰⁰

Muun muassa Euroopan liikenne- ja ympäristöliitto on
peräänkuuluttanut **ennakoitavampaa ja houkuttelevampaa teollisuus-
tukijärjestelmää** Euroopan kilpailukyvyyn lisäämiseksi. Yhdysvaltain
Inflation Reduction Act (IRA) tukee suoraan puhtaan teollisuuden
tuotantoa, kun taas EU:n tukikehikko painottuu investointeihin eikä
salli tuotantotukea.⁶⁰¹ Tuki voisi olla tulospäätteistä (perustua loppu-
tuotteisiin, ei projekteihin) ja ehdollista paikallisten toimitusketjujen
ja paikallisen valvonnan käytölle. Kokonaismäärät voitaisiin rajata
yrityskohtaisesti, jotta startup-yrityksille saadaan selkeät lähtökoh-
dat.⁶⁰² Suomessa on pelätty, että pienemmät maat jäävät suurempien
jalkoihin EU:n sisäisessä valtiontukikilpailussa, mikäli EU höllentää
valtiontukisääntöjään.⁶⁰³ Kauppatoimenpiteet, kuten tuontitullit kii-
nalaisille sähköautoille, voivat auttaa tuotannon lokalisoinnissa,
mutta seuraukset voivat jäädä vajaaksi jos tulleja ei sovelleta koko tuo-
tantoketjuun. Tullit eivät myöskään paranna eurooppalaisten yritysten
vientiasemaa vaan suojaavat niitä vain tuonnilta.⁶⁰⁴

EU-tasolla kriittisten raaka-aineiden häiriöiden varautu-
mistoimiksi on tunnistettu muun muassa varmuusvarastointi,
yhteishankinnat, tuonnin monipuolistaminen, pitkäaikaisten sopi-
musten ja kumppanuuksien solmiminen, komponenttien tuotannon
lisääminen EU:ssa, kierrätyksen ja kiertotalouden edistäminen sekä
vaihtoehtoisten materiaalien ja ratkaisujen kehittäminen. Raaka-ai-
neiden tarjontaa ja kysyntää tulisi seurata ja ennakoida säännöllisesti,
ja tuotantoketjujen seurannan ja riskienarvioinnin kapasiteettia tulisi
kehittää niin, että myös geopolittiset vaikutukset huomioitaisiin.⁶⁰⁵

Yritysten tasolla varautuminen tarkoittaa sekä riskien hajaut-
tamista että tiedonhallintaa. Strategioina voivat olla hintasuojaus
ja pitkät toimitussopimukset, varastointi ja materiaalien käytön

600 Sebastian & Boullenois 2024; Tagliapietra ym. 2025.

601 T&E 2025.

602 Todts 2024.

603 Ks. Hartikainen 2025; myös haastateltavat.

604 Todts 2024.

605 Ks. Carrara ym. 2023; Ragonnaud 2025.

tehostaminen, toimittajien monipuolistaminen ja vertikaalinen integraatio, kierrätys ja materiaalien korvaaminen sekä yhteishankintaryhmät ja IT-pohjainen päätöksenteon tuki.⁶⁰⁶ Lisäksi yritysten tulisi vahvistaa toimitusketjujen *due diligence* -prosesseja ja sopimusehtoja sekä seurata kauppapoliittisia muutoksia.⁶⁰⁷ Viestinnässä yritysten suuntaan on erään haastateltavan mukaan korostettava suomalaisen toimintaympäristön pitkäjänteistä ja vakaata kilpailukykyä, joka perustuu energian hintaan ja korkeaan raaka-aineosaamiseen. Kaivosyhtiöiden tulisi varmistaa, että koko kaivoksen elinkaarina aikaisiin ilmastovaikutuksiin on sopeuduttu – mukaan lukien kaivoksen sulkemisen jälkeisen ajan.⁶⁰⁸ Hallitusten, yritysten ja kansalaisjärjestöjen yhteistyöllä tulisi varmistaa, että louhintaan liittyviin vesivaikutuksiin puututaan tuotantoketjujen läpinäkyvyydellä, tiukemmalla ympäristölainsäädännöllä ja teknologisilla parannuksilla.⁶⁰⁹

Tieto raaka-aineiden ja komponenttien tuontiriippuvuuksista on keskeinen osa varautumista. Børger ym.⁶¹⁰ huomauttavat, että suomalaiset tuontiriippuvuudet heijastavat pitkälti yksittäisten yritysten päätöksiä. Kansallisen tason koordinointi ja avoimuus materiaalisista riippuvuuksista auttaisivat yrityksiä tekemään tietoon perustuvia hankintapäätöksiä. Ylipäätään mineraaliklusterin koko arvoketjun pituista tilannekuvaa tulisi joidenkin haastateltavien mukaan parantaa ja ymmärrystä eri strategisten tavoitteiden mineraalitarpeista kehittää.⁶¹¹ Bellois ja Ramdoo⁶¹² sekä muutamat haastateltavat korostavat lisäksi tarvetta ymmärtää paremmin metallien keskinäisriippuvuuksia (*companion metals*), eli sitä, että joitakin metalleja ei voi teknisesti louhia erikseen. Tämä on tärkeä näkökulma huomioida, kun pohditaan esimerkiksi tulevaa raaka-aineiden saatavuutta tai sääntelyä ja tutkimus- ja innovaatio-rahituksen suuntaamista. Näiden sivutuotemetallien saatavuus riippuu siis toisen kaivoksen päämetallin kysynnästä ja tuotannosta.

Huoltovarmuuskeskus perusti vuonna 2018 **kriittisten materiaalien seurantaryhmän**, joka seuraa markkinatilannetta ja pyrkii tunnistamaan häiriöitä.⁶¹³ Ryhmä voisi pyrkiä ennakoimaan pidemmälläkin aikavälillä ilmastonmuutoksen ja sen hillinnän vaikutuksista

606 Köster ym. 2022; Zhu ym. 2022.

607 Titievaskaia 2021.

608 Ks. Bellois 2022; Qarahasanlou ym. 2024.

609 Ks. Lakshman 2024.

610 Børger ym. 2023.

611 Myös Eilu ym. 2021.

612 Bellois & Ramdoo 2023.

613 HVK n.d.

globaaleihin toimitusketjuihin eli tarkastella esimerkiksi tiettyihin materiaaleihin liittyviä ilmastoriskejä (tulvia, vesipulaa, energiariippuvuutta) ja ennakoida niiden kehitystä.

3. Tapaustutkimus: Lannoitteet

Helmi Räisänen & Emma Hakala

3.1 Tiivistelmä

Tapaustutkimuksen aihe: Alkutuotannolle kriittisten lannoitteiden raaka-aineiden saatavuus ilmastonmuutoksen edetessä ja geopolittisen tilanteen kiristyessä.

Tutkimuskysymys: Miten lannoitteiden raaka-aineiden saatavuus voi muuttua ilmastonmuutoksen ja geopolittisten jännitteiden myötä? Millaisia ilmastonmuutoksen siirtymävaikutuksia lannoitteisiin ja niiden raaka-aineisiin liittyy?

Suomen elintarvikehuolto ja etenkin alkutuotanto ovat riippuvaisia kansainvälisestä kaupasta monien keskeisten tuotantopanosten ja raaka-aineiden osalta. Typpi-, fosfori- ja kaliumlannoitteiden tuotanto perustuu globaaleihin ja keskittyneisiin toimitusketjuihin, jotka ovat alttiita geopolittisille jännitteille, kauppapoliittisille rajoitteille, energiamarkkinoiden heilahteluille sekä ilmastonmuutoksen

aiheuttamille häiriöille. Lannoitteiden saatavuus ja hinta ovatkin viime vuosina olleet epävakaita, mikä heijastuu suoraan maatalous-
tuotannon kannattavuuteen. Samalla lannoitteiden globaali kysyntä kasvaa väestönkasvun, eläinperäisten tuotteiden kulutuksen lisää-
tymisen ja energiasiirtymän myötä, mikä kiristää kilpailua rajallisista
resursseista. Tuontipanoksista juuri lannoitteiden häiriöillä on suurin
potentiaali aiheuttaa satotappioita globaalilla tasolla, sillä moderni
ruoantuotanto on riippuvaista lannoitteista.

Lannoitteiden tuotanto perustuu nykyisellään pitkälti fossiilisiin
polttoaineisiin. Tämä kytkee lannoitemarkkinat tiiviisti energiamark-
kinoihin ja altistaa ne energiahintojen vaihteluille sekä geopolittisille
jännitteille, kuten Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan vuonna 2022 ja
Hormuzinsalmen tilanne keväällä 2026 ovat osoittaneet. Tuotantoket-
jut ovat siis alttiita vientirajoituksille, energiakriiseille ja konflikteille.
Samanaikaisesti ravinteiden kierto – erityisesti typen ja fosforin osalta
– on ylittänyt planetaariset rajat, mikä aiheuttaa merkittäviä ympä-
ristö- ja ilmastovaikutuksia.

Tässä tapaustutkimuksessa tarkastellaan, kuinka ilmas-
tonmuutos, geopolittiset jännitteet ja kestävyys siirtymä yhdessä
muokkaavat lannoitteiden ja niiden raaka-aineiden saatavuutta
Suomen näkökulmasta. Markkinoiden keskittyminen, saastuttavat
tuotantomenetelmät ja alkutuotannon suuri riippuvuus mineraali-
lannoitteista näyttäytyvät rakenteellisina haavoittuvuuksina. Myös
ilmastonmuutoksen hillitsemiseen tähtäävät politiikat, energiasiir-
tymä (esim. bioenergia, vetytalous) ja kasvava kilpailu kriittisistä
mineraaleista (esim. akkujen fosforista) tuovat mukanaan uusia siir-
tymävaiheeseen liittyviä paineita, jotka voivat muuttaa globaaleja
lannoitemarkkinoita uudella tavalla. Kestävyys siirtymä lannoitteissa
tarjoaa mahdollisuuden Suomen turvallisuuden ja huoltovarmuu-
den lisäämiseen. Lannoitteiden käytön tehostaminen, tuotannon
irtikyt kentä fossiilitaloudesta, ravinteiden kierrätyksen lisääminen
ja maatalouden rakenteelliset muutokset ovat keskeisiä keinoja resi-
lienssin lisäämiseksi.

**Alla on kuvattu tapaustutkimuksen keskeisiä tuloksia kirjallisuuskatsauk-
seen ja haastatteluaineistoon perustuen, pois lukien varautumisen keinot,
jotka on tiivistetty erikseen osiossa *Varautumisen keinoja*.**

- Lannoitteet ovat kriittinen osa ruoantuotantoa, ja erityisesti
typpilannoitteilla on kriittinen vaikutus satotasoille lyhyellä
aikavälillä. Suomessa ja EU:ssa lannoitteiden tuotanto on vah-
vasti riippuvaista kansainvälisistä tuotantoketjuista.

- Lannoitteiden tuotanto ja raaka-aineet (erityisesti maakaasu, ammoniakki, fosfori ja kalium) ovat vahvasti keskittyneet harvoihin maihin, mikä lisää geopolitiikkaan, ilmastomuutokseen ja logistiikkaan liittyvien häiriöiden riskiä.
 - EU:n riippuvuus Venäjältä ja Yhdysvalloista tulevista raaka-aineista ja lannoitteista on selkeä riski, jonka ratkaisemista Persianlahden maiden vaikeutunut tuotantotilanne ei helpota.
- EU:n ja Suomen lannoitemarkkinoiden rakenteelliset haavoittuvuudet – korkea tuontiriippuvuus, markkinoiden keskittyneisyys ja kotimaisen ammoniakkituotannon puute – heikentävät toimitusvarmuutta ja altistavat hinnanvaihteluille.
 - Lisäksi lannoitteiden tuotannon vahva riippuvuus fossiilisista polttoaineista altistaa sen energiamarkkinoiden muutoksille ja geopolitiittisille riskeille.
 - Lannoitteiden hinnat ovat muuttuneet aiempaa epävakammiksi, mikä heikentää viljelijöiden ennakointikykyä ja voi heijastua ruoantuotannon määrään ja hintoihin.
- Lannoitteiden valmistukseen ja käyttöön liittyvät ympäristöhaasteet – kuten rehevöityminen ja kasvihuonekaasupäästöt – ovat merkittäviä ja kytkeytyvät suoraan planetaaristen rajojen ylityksiin.
 - Ravinteiden kierrätys on toistaiseksi riittämätöntä, ja merkittävä osa ravinteista päätyy hukkaan ympäristöön, mikä lisää riippuvuutta primäärraaka-aineista.
 - EU:n sääntely (esim. päästökauppa ja hiilirajamekanismi) vaikuttaa lannoiteteollisuuden kustannuksiin ja kilpailukykyyn sekä ohjaa siirtymää vähäpäästöisiin tuotantotapoihin.
- Ilmastomuutos voi lisätä suoria tuotanto- ja toimitusketjun häiriöitä sään ääri-ilmiöiden, kuten kuivuuden, tulvien ja myrskyjen kautta, sekä vaikuttaa energia- ja vesiresurssien saatavuuteen. Suurin osa haavoittuvuuksista liittyy ennemminkin siirtymävaikutuksiin, kuten energiasiirtymään ja päästöttömiin tuotantomuotoihin siirtymiseen.
- Lannoitteiden ja niiden raaka-aineiden keskitetyt tuotantoketjut voivat altistaa yhtäaikaisten sään ääri-ilmiöiden että geopolitiittisten jännitteiden aiheuttamille häiriöille erityisesti globaalien kuljetusreittien ja solmukohtien, kuten Hormuzin salmen ja satamien kautta.

- Lannoitemarkkinat ovat geopolittisesti strateginen ala, jossa raaka-aineet ja tuotanto voivat toimia myös poliittisen vaikuttamisen välineenä.
 - Geopoliittiset jännitteet ja kauppapoliittiset toimet (pakotteet, tullit, vientirajoitukset) voivat nopeasti vaikuttaa lannoitteiden ja niiden raaka-aineiden saatavuuteen ja hintoihin.
 - Lannoitteiden saatavuushäiriöillä voi olla merkittäviä vaikutuksia globaaliin ruokaturvaan.
- Ilmastonmuutoksen, energiasiirtymän ja geopolittisten kriisien yhteisvaikutuksia lannoitteiden saatavuuteen ei ole systemaattisesti tutkittu, ja ilmiö edellyttää lisätutkimusta.
- Suomen huoltovarmuuden näkökulmasta riittävä ravinteiden saatavuus on keskeistä ruoantuotannolle. Kuitenkaan tilannekuva lannoitteiden käytöstä, tarpeesta ja ympäristövaikutuksista ei ole yhtenäinen, mikä vaikeuttaa riskienhallintaa ja politiikka-toimien kohdentamista.
- Suomessa maatalouden rakenne kokonaisuudessaan määrittää lannoitteiden käyttöä. Tällä hetkellä suuri eläintuotannon osuus lisää riippuvuutta ulkoisista tuotantopanoksista.

3.2 Lannoitteiden kriittinen rooli

Lannoitteet liittyvät oleellisesti ruoantuotantoon, ilmastonmuutokseen, energia- ja mineraalivaroihin, ympäristöön ja turvallisuuteen. Esimerkiksi Kiinan kasvava rooli tuotannossa, Ukrainan sota ja globaalin etelän ruokaturvan heikkenemiseen liittyvä geopolittinen kilpailu sekä hiilidioksidipäästöjen vähentämisen välttämättömyys muuttavat globaalin lannoiteteollisuuden tuotantoketjuja.⁶¹⁵

Ruoantuotanto aiheuttaa maailmanlaajuisesti noin kolmanneksen kasvihuonepäästöistä, joista suurin osa liittyy maanviljelyyn ja maanmuokkaukseen.⁶¹⁶ Samalla ilmastonmuutos vaikuttaa useiden tutkimusten mukaan negatiivisesti etenkin alkutuotantoon,⁶¹⁷ ja lisääntyneet sään ääri-ilmiöt ovat nostaneet ruoan hintaa ympäri maailmaa.⁶¹⁸ Ilmastonmuutoksen edetessä riski yhtäaikaista ja laajoista kuivuuskausista globaalille ruoantuotannolle merkittävillä

⁶¹⁵ Quitzow ym. 2025.

⁶¹⁶ Crippa ym. 2021.

⁶¹⁷ Esim. Heino ym. 2023; Hultgren ym. 2025; Jägermeyr ym. 2021; Lobell & Di Tommaso 2025.

⁶¹⁸ Dwyer 2024; Garcia & Jones 2025; Kotz ym. 2025.

alueilla kasvaa merkittävästi.⁶¹⁹ Sekä geopolitiittisten tapahtumien että äärimmäisten sääilmiöiden aiheuttamat shokit ruoantuotannolle ovat lisääntyneet maailmanlaajuisesti, ja häiriöt voivat levitä useille elintarvikesektoreille niiden kytkeytyneisyyden vuoksi.⁶²⁰

Lisääntyvä paine ruoantuotannon järjestelmiin ja erityisesti maaperän köyhtyminen voivat entisestään lisätä lannoitteiden käyttöä ja syventää lannoitteisiin liittyviä ympäristöhaittoja.⁶²¹ Moderni ruoantuotanto on riippuvainen keskitetysti tuotetuista ja kauppavälineistä lannoitteista, joiden liiallinen käyttö on ylittänyt maapallon säätelykyvyn. 1,8 miljardia ihmistä on riippuvaisia joko tuoduista typpilannoitteista tai maakaasusta. Mallinnusten mukaan tuotintapojen osalta juuri lannoitteiden häiriöillä on suurin potentiaali aiheuttaa satotappioita globaalilla tasolla, erityisesti viljavilla seuduilla. Samalla runsaat ravinnevirtaukset aiheuttavat rehevöitymistä ja pahentavat biologisen monimuotoisuuden häviämistä, ja typen virtaukset pahentavat ilmastonmuutosta.⁶²² Pelkästään synteettisten typpilannoitteiden käyttö maailmanlaajuisesti kasvoi 800 prosenttia vuosina 1961–2017, ja niiden tuotanto ja käyttö aiheuttavat yli viidenneksen maatalouden suorista kasvihuonekaasupäästöistä.⁶²³ Lannoitteiden käyttö maailmassa on kuitenkin jakautunut erittäin epätasaisesti niin, että esimerkiksi Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa niitä ylikäytetään ja Saharan eteläpuolella Afrikassa alikäytetään.⁶²⁴ Maailman väestön ja ravitsemustarpeiden kasvun lisäksi lannoitteiden lisääntyvää kysyntää ajaa kasvava kotieläintuotteiden kysyntä ja rehujen tuotanto.⁶²⁵

3.3 Lannoitteiden tuotanto ja markkinat

Tärkein kasviravinne on typpilannoite, minkä lisäksi käytetään **fosfori- ja kaliumlannoitteita**. Mineraalilannoitteiden tyyppi on peräisin ilmakehän typpikaasusta, joka sidotaan **ammoniakiksi** käyttäen pääasiassa maakaasusta saatavaa vetyä.⁶²⁶ Ammoniakki on kaikkien epäorgaanisten typpilannoitteiden typen raaka-aine. Ammoniakkia ei

619 Singh ym. 2022.

620 Cottrell ym. 2019.

621 Esim. Quan ym. 2024; UNEP 2025a.

622 Ahvo ym. 2023; Kahiluoto ym. 2014; Lähde ym. 2023; Mingolla & Rosa 2025; Richardson ym. 2023.

623 Clapp 2023.

624 Esim. Quitzow ym. 2025.

625 Niskanen 2022.

626 Järvenranta, Kykkänen ym. 2022.

tuoteta Suomessa, mutta typpilannoitteita ja muita lannoitetuotteita valmistetaan Suomessa merkittäviä määriä, myös vientiin.⁶²⁷ Globaalisti typen kysyntä, joka vastaa yli puolta lannoitteissa annettavista kasvinravinteista, on kasvanut väestön lisääntyessä ja kotieläintuotteiden kysynnän kasvaessa.⁶²⁸

Typpilannoitteilla on Suomessa keskeinen merkitys lyhyen aikavälin kriisitilanteissa ja huoltovarmuuden turvaamisessa,⁶²⁹ sillä ne vaikuttavat suoraan satotasoihin nykyisissä viljelyjärjestelmissä. Luken raportin mukaan muita ravinteita on maaperässä yleensä sen verran, että lyhyellä aikavälillä voidaan tuottaa kohtuullisia satoja.⁶³⁰ Lannoitteiden hinnan kivutessa maanviljelijät voivat rajoittaa lannoitteiden käyttöä, mikä voi aiheuttaa tuotannon supistumista ja nousupainetta kuluttajahintoihin.⁶³¹ Yhdysvalloissa tehtyjen tutkimusten mukaan 40–60 prosenttia maatalouden sadoista voidaan katsoa johtuvan epäorgaanisten lannoitteiden käytöstä.⁶³² Suomessa on havaittu, että matalan satopotentialin lohkoilla typpilannoitus voi kaksinkertaistaa viljasadon ja että lohkoilla, joissa saatiin kohtuullinen sato ilman lannoitusta, typpilannoitus lisäsi satoa 60–70 prosenttia.⁶³³ Erään haastateltavan mukaan typpilannoituksen tason ollessa 70 prosenttia optimitasosta satotaso laskee alle 10 prosenttia, mutta jos typpilannoitteen tasoa lasketaan tätä enemmän, satotaso putoaa jyrkemmin voidaan jopa puolittua, jos typpilannoitetta ei olisi saatavilla lainkaan. Lannoitustarve vaihtelee kasveittain ja maalajeittain, ja siihen vaikuttavat myös sääolot.

Epäorgaanisia *typpilannoitteita* käytetään maataloudessa vuosittain noin 135–155 miljoonaa kilogrammaa Suomessa.⁶³⁴ Suomessa viljeltyä peltoalaa on noin kaksi miljoonaa hehtaaria, josta viljoja viljellään noin puolella ja nurmia noin kolmanneksella tai 40 prosentilla peltoalasta. Nurmien typpilannoitustarve on suurempi kuin viljojen, eli suhteellisesti suurempi osa typpilannoitteista levitetään nurmille.⁶³⁵ Valtaosalla – 70 prosentilla – Suomen viljelyalasta tuotetaan rehua eläimille.⁶³⁶ Lisäksi lannoitetyppeä käytetään metsätaloudessa

627 Järvenranta Kykkänen ym. 2022; Niskanen 2022.

628 Niskanen 2022.

629 TEM 2022.

630 Niskanen 2021.

631 Hiilamo 2022.

632 Quitzow ym. 2025.

633 Ks. Järvenranta, Kykkänen ym. 2022.

634 Niskanen 2021.

635 Järvenranta, Kykkänen ym. 2022; Luke 2025.

636 Saarinen ym. 2019; Virranniemi 2021.

yhteensä noin 5–6 prosenttia maataloudessa käytettävästä typpi-valmisteen määrästä vuosittain.⁶³⁷ Mineraalilannoitteina fosforia on puolestaan myyty noin 10 miljoonaa kilogrammaa vuosittain⁶³⁸ ja kaliumia noin 34 miljoonaa kilogrammaa.⁶³⁹ Tässä tulee muistaa, että osa viljelyyn tarvittavista ravinteista saadaan muuta kautta, kuten eläinten lannasta.

Suomessa suurin osa lannoitetuotteista myydään **moniravinteisina NPK-rakeina**, joissa on typpeä (N), fosforia (P) ja kaliumia (K) erilaisissa suhteissa. Tällaisten yhdistelmälannoitteiden sijaan muualla Euroopassa käytetään haastateltavien mukaan enemmän typpilannoitetta erikseen tai mekaanisia sekoituksia, joissa ravinteet ovat eri rakeissa. Suomessa happaman maaperän ja kylmien ilmasto-olosuhteiden vuoksi fosforilannoittamisen tarve on suurempi kuin muualla. Vuonna 2016 suomalaiset maatilat käyttivät tarvikekustannuksista lannoitteisiin keskimäärin 12 prosenttia maitotiloilla ja 37 prosenttia viljatiljoilla sekä noin 4 prosenttia *kaikista* tuotantokustannuksista. Maa- ja metsätalousministeriön selvityksen mukaan eurooppalaisessa vertailussa Suomen lannoitehintataso on korkea.⁶⁴⁰ Haastateltavan mukaan viljatiljojen tarvikekustannuksista lannoitteisiin kului noin 20 prosenttia 2000-luvun alussa, kun taas esimerkiksi hintapiikin aikana vuonna 2023 niihin kului noin neljännes tarvikekustannuksista.

Suomessa valmistettavien lannoitteiden pääraaka-aineita ovat raakafosfaatti, typpihappo, fosforihappo, ammoniakki, rikkihappo ja kaliumsuolat. Suomessa suurin lannoitealan toimija on Yara Suomi Oy, joka on osa maailman suurinta ammoniakkia tuottavaa toimijaa, Yara-konsernia. 80–90 prosenttia Yara Suomi Oy:n tuotannosta menee vientiin. Yaran tehtaan yhteydessä Siilinjärvellä toimii EU-alueen ainoa fosfaattikaivos. Fosforin suhteen Suomi on Luken⁶⁴¹ ja haastateltavien mukaan omavarainen, joskin toisessa Luken lähteessä huomautetaan, että sen tuotannosta vastaa ulkomainen omistaja, joka voi kriisitilanteissa myydä tuotannon pois Suomesta.⁶⁴² Valmiuslain-säädännön mukaan poikkeusolot antavat kuitenkin viranomaisille mahdollisuuden puuttua elinkeinoharjoittajien ja teollisuustuotannon toimintaan. Typpihappoa valmistetaan ammoniakista Yaran tehtailla Siilinjärvellä ja Uudessakaupungissa, mutta ammoniakin tuotantoa

637 Järvenranta, Kykkänen ym. 2022.

638 Lemola ym. 2023.

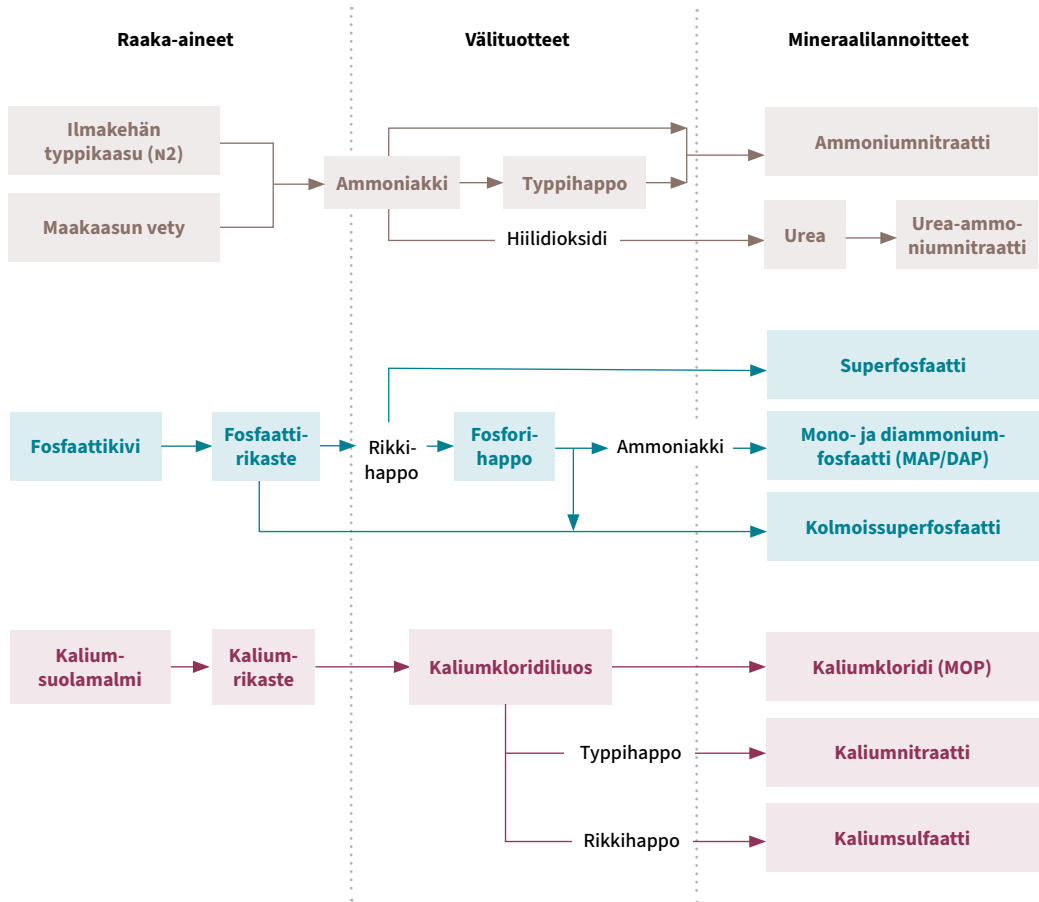
639 Ks. Luke n.d.a.

640 Aakkula ym. 2019.

641 Niskanen 2021.

642 Lemola ym. 2023.

Kaaviokuva eri lannoitteista



Kuva 9. Tärkeimpien lannoitteiden tuotanto. Lähde: Fertilizers Europe 2023a.

ei Suomessa ole. Ammoniakkimarkkina on globaali, ja sillä on paljon eri toimijoita.⁶⁴³ Yara tuo ulkomailta typen ja kaliumin valmistamiinsa NP-, NS-, NK- ja NPK-lannoitteisiin.⁶⁴⁴

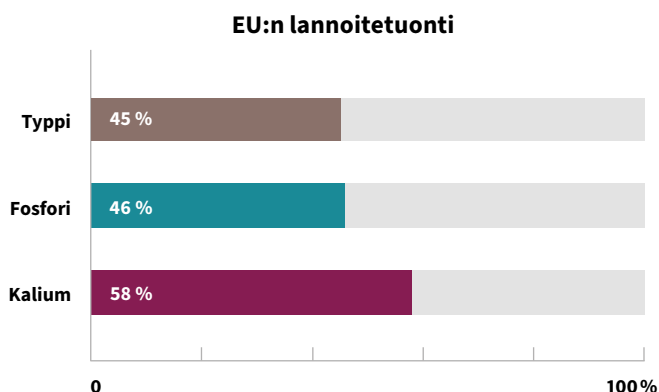
Yaran lisäksi Suomen lannoitealan toimijoita ovat olleet esimerkiksi **Cemagro ja Belor Agro**, joiden liiketoiminta on ennen Venäjän hyökkäyssotaa 2022 perustunut lähinnä venäläisen tuontilannoitteen myyntiin.⁶⁴⁵ Vuodesta 2021 lähtien Belor Agro on ollut suomalaisen Berner Oy:n omistama tytäryhtiö, mutta vuodesta 2024 lähtien sen toiminta on integroitu osaksi Berneriä, eikä Belor Agroa enää ole.⁶⁴⁶

⁶⁴³ Niskanen 2021.

⁶⁴⁴ Aakkula ym. 2019. S tarkoittaa rikkiä.

⁶⁴⁵ Luukkonen 2023.

⁶⁴⁶ Berner 2024.



Kuva 10. Tuontituotteiden osuus EU:n kulutuksesta. Lähde: Fertilizers Europe 2023a.

Haastateltavien mukaan Cemagro on tuonut hyökkäyssodan jälkeen yksittäisiä eriä lannoitteita edelleen Venäjältä Suomeen. Kokonaisuudessaan määrä on jäänyt kuitenkin pieneksi. Berner on haastateltavien mukaan vaihtanut toimittajansa Venäjältä Viroon.

Suomen lannoitemarkkinat ovat äärimmäisen keskittyneet, sillä yhdellä toimijalla on hallussaan mittava osuus koko markkinoiden tarjonnasta.⁶⁴⁷ Yaran ja keskusliikkeiden välisessä kaupassa sovelletaan tukkualennuksia, joissa ostovolyymien kasvaessa sille sovellettava alennusprosentti kasvaa. Tämä voi vaikeuttaa uusien toimijoiden tuloa markkinoille. Maa- ja metsätalousministeriön raportissa kuvataan, että Suomessa valtio yksityisti Kemiran Grow How’n vuonna 2007 varmistamatta, että kilpailu alalla säilyisi.⁶⁴⁸

EU:n jäsenmaissa tuotetaan 8 prosenttia maailman typpilannoitteista, ja EU maahantuo 45 prosenttia omasta tarpeestaan.⁶⁴⁹ EU:hun tuotiin typpilannoitteita Venäjältä (23,7 prosenttia), Egyptistä (22,3 prosenttia), Algeriasta (10,9 prosenttia), Yhdysvalloista (8,1 prosenttia), Kiinasta (7,0 prosenttia) ja muualta (27,8 prosenttia) vuonna 2023.⁶⁵⁰ Taloudelliset näkymät ja Euroopan viljelyalan ennakoitu kehitys huomioon ottaen typpi-, fosfori- ja kaliumlannoitteiden vuotuisen kulutuksen odotetaan kasvavan EU:ssa.⁶⁵¹

Suurin osa Euroopan typpilannoitetuotannosta perustuu sen omaan ammoniakkituotantoon (esim. 72 prosenttia vuonna 2021). Euroopan **ammoniakin tuotantokapasiteetti** on noin 18 miljoonaa tonnia

647 Esim. Luukkonen 2023.

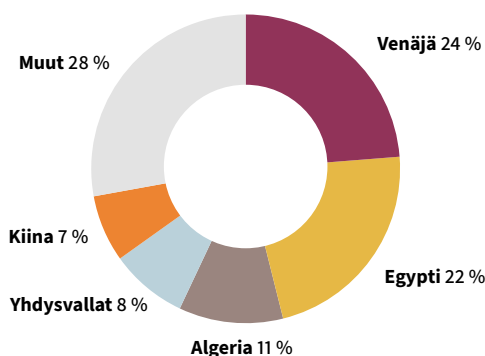
648 Aakkula ym. 2019.

649 Fertilizer Europe 2023a.

650 European Commission 2023g.

651 Fertilizer Europe 2024.

Typpilannoitteet



Kuva 11. Typpilannoitteiden tuonti EU:hun vuonna 2023. Lähde: European Commission 2023g.

vuodessa.⁶⁵² Oman tuotannon lisäksi ammoniakkia on tuotu EU:hun esimerkiksi Venäjältä, Algeriasta, Trinidad ja Tobagosta ja Ukrainasta (ks. lisää alempana). 80 prosenttia EU:ssa valmistetusta ammoniakista käytetään lannoitetuotantoon. Ammoniakin ja siitä valmistettujen lannoitteiden hinta määräytyy lähes suoraan suhteessa maakaasun hintaan, eli maakaasun kallistuessa myös typpilannoitteiden hinta kohoaa, kuten Venäjän hyökkäyssodan myötä kävi. Lisäksi muiden lannoitteiden tuotantokustannukset kohoavat energian hinnan kohotessa, sillä kaivannaisteollisuus ja -jalostus tarvitsevat energiaa.⁶⁵³ Tosin tätä tutkimusta varten haastateltu lannoitealan toimija kuvaili, että maakaasu ei enää vaikuta lannoitteiden hintaan, kun venäläistä maakaasua on korvattu LNG:llä – joskin osa siitäkin on venäläistä.

Huoltovarmuuden näkökulmasta on tärkeä huomioida, että **EU:n oma ammoniakin tuotanto perustuu suurelta osin tuontikaasuun**. EU:n kaasun tuotanto kokonaisuudessaan kattaa vain noin 7 prosenttia sen kulutuksesta. Vuoden 2025 ensimmäisellä neljänneksellä tuontikaasusta (sekä putkikaasusta että LNG:stä) 31 prosenttia tuli Norjasta, 24 prosenttia Yhdysvalloista, 14 prosenttia Venäjältä, 13 prosenttia Algeriasta, 5 prosenttia Qatarista ja 4 prosenttia Azerbaidžanista.⁶⁵⁴ EU lopettaa venäläisen kaasun tuonnin vaiheittain vuoden 2026 alusta alkaen.⁶⁵⁵

Ammoniakin globaalin tarjonnan on oletettu niukke-
nevan, mutta hintojen nousu voi myös lisätä käyttämättömän

⁶⁵² Ammonia Europe 2025.

⁶⁵³ Niskanen 2022.

⁶⁵⁴ Market Observatory for Energy of the European Commission 2025.

⁶⁵⁵ Euroopan parlamentti 2025; TEM 2025; Paakkanen & Salmela 2025.

tuotantokapasiteetin käyttöönottoa. **Ammoniakin tuonnin Eurooppaan on ennakoitu kasvavan merkittävästi.** Lähi-idän maiden roolin EU:n kauppakumppanina ennakoitiin kasvavan sekä energian että typpilannoitteiden osalta.⁶⁵⁶ Euroopan komissio väittää ammoniakin tuonnin monipuolistuneen vuonna 2024,⁶⁵⁷ mutta tilastojen valossa Venäjän osuus EU:n ammoniakin tuonnista kasvoi voimakkaasti vuodesta 2023 vuoteen 2024: sekä tuonnin arvo että määrä yli kaksinkertaistuivat, ja Venäjä nousi vuoden 2024 suurimmaksi toimittajaksi. Venäjän jälkeen vuoden 2024 toimittajat suuruusjärjestyksessä olivat Trinidad ja Tobago, Algeria, Egypti, Yhdysvallat, Turkki, Iso-Britannia, Libya, Saudi-Arabia ja niin edelleen.⁶⁵⁸ Keväällä 2026 EU:n hiilirajamekanismi, Persianlahden maiden fossiili-infrastruktuurin tuhoutuminen sodassa sekä Hormuzinsalmen liikenteen pysähtyminen vaikuttavat markkinoihin ja EU:n mahdollisuuksiin tuoda ammoniakkia ja maakaasua Persianlahdelta. (Lisää hiilirajamekanismista sekä Hormuzinsalmesta alempana.)

Venäjä on arviolta maailman merkittävin typpilannoitteiden vientimaa, jos huomioidaan ammoniakin ja valmiiden lannoitteiden vienti. Tämän lisäksi monen maan ammoniakin tuotanto perustuu venäläiseen maakaasuun. Vuonna 2020 typpilannoitteiden suurimpia viejiä maailmassa olivat Kiina, Venäjä, Alankomaat ja Saudi-Arabia.⁶⁵⁹ Euroopan riippuvuus Venäjästä lannoiteteollisuuden raaka-aineissa on perinteisesti ollut suurta kaikkien pääravinteiden kohdalla. Noin puolet Euroopan valmiista lannoitteista tuotiin vuoden 2022 Luken raportin mukaan Venäjältä ja Valko-Venäjältä. EU tavoittelee lannoitteiden tuonnin monipuolistamista, ja tuontia Egyptistä ja Algeriasta lisättiin vuonna 2022.⁶⁶⁰ Silti vuonna 2024 suurin osa EU:n lannoitetuonnista oli kohtalaisen keskittynyttä, ja esimerkiksi joidenkin seoslannoitteiden tuonti oli erittäin keskittynyttä.⁶⁶¹

Suomeen tuotavasta ammoniakista (0,5 miljoonaa tonnia per vuosi) 80 prosenttia tuotiin ennen hyökkäyssotaa Venäjältä. Lisäksi ammoniakkia tuotiin esimerkiksi Saksasta, Iso-Britanniasta ja Alankomaista.⁶⁶² Venäjältä tuotiin ammoniakkia 196 miljoonan eu-

656 Niskanen 2022.

657 European Commission 2025e.

658 Ks. WITS 2023; 2024.

659 Niskanen 2022.

660 Luukkonen 2023.

661 European Commission 2025e.

662 Niskanen 2021; 2022.

ron arvosta vuonna 2022⁶⁶³ ja lannoitteita 93,3 miljoonalla eurolla.⁶⁶⁴ Esimerkiksi Yaran Uudenkaupungin ja Siilinjärven lannoitetehtaille lähes kaikki ammoniakki tuotiin Venäjältä ennen hyökkäyssotaa, ja edelleen 30–40 prosenttia tuodaan Venäjältä haastateltavan ja uutislähteen mukaan.⁶⁶⁵

Lannoitteita tuotiin vuonna 2021 Venäjältä Suomeen 190 miljoonalla eurolla, 0,7 miljoonaa tonnia. Venäjän osuus tuonnin arvosta oli tällöin 72 prosenttia ja määrästä 79 prosenttia.⁶⁶⁶ Lannoitteiden tuonti väheni vuonna 2023 5,5 miljoonaan euroon. Suomen kautta lannoitteita on viety Afrikkaan ja Etelä-Amerikkaan.⁶⁶⁷ Ennen Venäjän hyökkäyssotaa lannoiteraaka-aineiden ja valmiiden lannoitteiden tuonti rautateitse Venäjältä Suomeen oli vakiintunut toimintatapa, joka osaltaan johti korkeaan tuonnin osuuteen ammoniakista.⁶⁶⁸

2000-luvulla Suomessa **lannoitteiden hintataso on merkittävästi noussut ja suuret hintavaihtelut ovat lisääntyneet**. Vuoteen 2011 saakka lannoitteiden ja maanparannusaineiden hinnat seurasivat EU-maiden yleistä, nousevaa hintakehitystä, mutta eriytyi omanlaisekseen vuonna 2012 ja jäi lopulta hintaindeksiä tarkastellen korkeimpien joukkoon.⁶⁶⁹ Esimerkiksi vuonna 2022 lannoitteiden hinnat olivat kaksin- tai jopa kolminkertaiset vuoden 2021 kesän hintoihin nähden Suomessa. Syyskuussa 2021 NPK-lannoitteiden hinta kohosi 52 prosenttia ja typpilannoitteiden hinta 71 prosenttia.⁶⁷⁰ Kohonneiden hintojen taustalla vaikuttivat ainakin voimakas kysyntä Brasilian ja Yhdysvaltojen soijaviljelmillä sekä kohonneet energia- ja kuljetuskustannukset.⁶⁷¹ Lannoitteiden hinnat jatkoivat kohoamistaan Venäjän hyökättyä Ukraina helmikuussa 2022 ja olivat korkeimmillaan syys-joulukuussa. Maakaasun hinnan alentuessa myös lannoitteiden hinnat laskivat vuoden 2023 alussa, mutta pysyivät yhä verrattain korkealla.⁶⁷² Nykyisin lannoitteiden **hinnat voivat muuttua aiempaa nopeammin**, mikä voi hankaloittaa viljelijöiden ostopäätöksiä.⁶⁷³ Myös eräs haastateltavista kuvasi, että näkymä markkinoiden kehittymiseen on heikentynyt, ja sen myötä tilojen mahdollisuudet suunnitella

663 Pokki 2023.

664 Peiponen 2024a.

665 Welling 2025. Ks. myös osio *Venäjän hyökkäyssota*.

666 Destia 2022.

667 Peiponen 2024a.

668 Niskanen 2022.

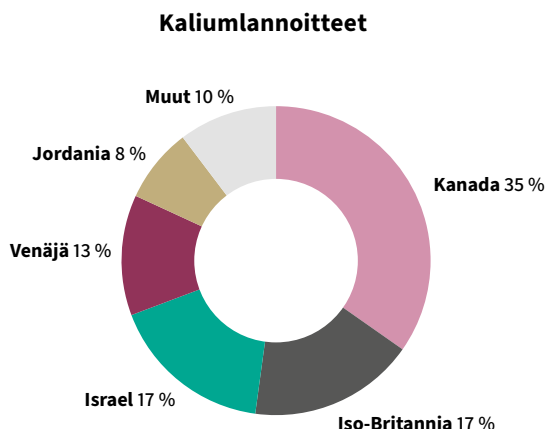
669 Aakkula ym. 2019.

670 Luukkonen 2023.

671 West ym. 2022.

672 Luukkonen 2023.

673 Aakkula ym. 2019.



toimintaansa ovat myös heikentyneet. Toinen haastateltava kertoi, että lannoitteiden myynti on jäänyt viimeisimmän hintapiikin jälkeen 10–15 prosenttia matalammalle tasolle, toisin kuin esimerkiksi Ruotsissa, jossa markkinat ovat palautuneet.

Kuva 12. Kaliumlannoitteiden tuonti EU:hun vuonna 2023. Lähde: European Commission 2023g.

3.3.1 Fosfori ja kalium

Kalium (*potassium*, K) on elintärkeää kasveille, ja siksi se on lannoitteiden keskeinen ainesosa. Lannoitteissa käytettävät kolme tärkeintä kaliumin muotoa ovat **kaliumkloridi**, **kaliumnitraatti** ja **kaliumsulfaatti**,⁶⁷⁴ josta pääasiallinen lannoiteteollisuuden tuottama muoto on kaliumkloridi.⁶⁷⁵ Suomeen tuotavasta kaliumista 94 prosenttia on kaliumkloridia, jonka lisäksi maahantuodaan myös kaliumsulfaattia ja kaliummagnesiumsulfaattia.⁶⁷⁶ Valtaosa, 95 prosenttia, maailmassa tuotetusta kaliumista käytetään lannoitteissa, ja loput käytetään esimerkiksi pesuaineiden, keramiikan ja lääkkeiden valmistuksessa.⁶⁷⁷

Maailmanlaajuisesti kaliumin valmistajia on vain vähän, ja ne ovat kooltaan suuria toimijoita.⁶⁷⁸ Suurimpia kaliumkloridin tuottajamaita ovat suuruusjärjestyksessä Kanada, Venäjä, Valko-Venäjä, Kiina ja Israel. Suurimmat *varannot* löytyvät Kanadasta, Valko-Venäjältä, Venäjältä, Yhdysvalloista ja Kiinasta, ja suurimmat kaliumkloridin-viejämaat ovat Kanada, Venäjä, Valko-Venäjä, Israel ja Saksa.⁶⁷⁹

⁶⁷⁴ Ks. kuva 9; Rodeja ym. 2025.

⁶⁷⁵ Government of Canada 2025.

⁶⁷⁶ Niskanen 2021.

⁶⁷⁷ Government of Canada 2025; U.S. Geological Survey 2025.

⁶⁷⁸ Niskanen 2021.

⁶⁷⁹ Government of Canada 2025.

Euroopassa merkittävä kaliumin tuotanto keskittyy Saksaan. Suomessa syntyy hieman kaliumia sisältävää biotiittia Yaran Siilinjärven kaivoksen sivutuotteena.⁶⁸⁰ EU-maiden osuus maailman kaliumin tuotannosta on 6 prosenttia, ja se maahantuo 58 prosenttia tarpeestaan.⁶⁸¹ Vuonna 2023 EU:hun tuotavasta kaliumlannoitteesta 34,7 prosenttia tuli Kanadasta, 17,4 prosenttia Iso-Britanniasta, 17,1 prosenttia Israelista, 12,6 prosenttia Venäjältä, 7,8 prosenttia Jordaniasta ja loput muista maista. 85 prosenttia kaliumlannoitteiden tuonnista oli kaliumkloridia eli MOP-lannoitteita. MOP (*muriate of potash*) tarkoittaa lannoitteeksi soveltuvaa kaliumkloridin (puhtausaste vähintään 95 prosenttia) ja natriumkloridin seosta. Vielä vuonna 2021 31,8 prosenttia MOP-lannoitteista tuotiin Valko-Venäjältä, 23,1 prosenttia Venäjältä, 21,8 prosenttia Kanadasta, 14,4 prosenttia Israelista, 3,7 prosenttia Iso-Britanniasta ja loput muualta. Vuonna 2023 tuonnista 41 prosenttia tuli Kanadasta, 20 prosenttia Israelista, 14 prosenttia Venäjältä, 9 prosenttia Jordaniasta, 6 prosenttia Uzbekistanista ja loput muualta.⁶⁸² Erään haastateltavan mukaan Suomeen tuodaan kaliumia Turkista, Marokosta, Algeriasta, Itä-Euroopasta ja Amerikasta ja toisen haastateltavan mukaan myös Saksasta.

Sekä kaliumin tuotannon kapasiteetin että kysynnän ennakoidaan nousevan. Suurin osa lisäyksestä muodostuu MOP-tuotannosta uusissa kaivoksissa Valko-Venäjällä, Brasiliassa, Kanadassa, Etiopiassa, Marokossa ja Espanjassa sekä nykyisten kaivosten laajenuksista Laosissa ja Venäjällä.⁶⁸³

Tuotannon epätasainen jakautuminen ja kaliumvarantojen rajallisuus ovat herättäneet huolta tulevasta saatavuudesta ja mahdollisista konflikteista niiden käytön suhteen.⁶⁸⁴ Kaliumia ei varmuusvarastoida huoltovarmuustarkoituksessa Suomessa, vaikka 80 prosenttia kaliumista tuotiin ainakin ennen hyökkäyssotaa Venäjältä.⁶⁸⁵ Venäjältä tuodun kaliumkloridin kauppahinta laski 38 miljoonan euron tasolle vuonna 2022 (vrt. 108 miljoonaa euroa vuonna 2021).⁶⁸⁶ Valtaosa Suomeen tuodusta kaliumlannoitteesta viedään eteenpäin jalostettuina tuotteina.⁶⁸⁷ Venäjän hyökkäyssodan ja pakotteiden vaikutuksia kaliumkauppaan käsitellään tarkemmin osiossa *Venäjän hyökkäyssota*.

680 Niskanen 2021; Yara n.d.

681 Fertilizer Europe 2023a.

682 European Commission 2023g; U.S. Geological Survey 2025.

683 U.S. Geological Survey 2025.

684 Rodeja ym. 2025.

685 Ks. Niskanen 2021.

686 Pokki 2023.

687 Niskanen 2021.

Kaliumin tuotanto on keskittynyt yritysten tasolla, ja suurin osa yrityksistä keskittyy kaivostoimintaan paikallisesti. Lannoiteteollisuudella vaikuttaa olevan taipumus kartellien muodostamiseen ja oligopolistisiin käytäntöihin. Yhdistettynä maantieteelliseen keskittymiseen tämä tarkoittaa sitä, että muutamat yritykset hyötyvät hintojen volatiliiteetista.⁶⁸⁸ Vientikartelleja suojaavat paitsi taloudelliset markkinoille pääsyn esteet myös poliittinen tuki niiden kotimaiden hallituksilta, jotka hyötyvät kartellin tuottamista verotuloista ja työpaikoista.⁶⁸⁹

Vuonna 2022 kaliumin suurin tuottaja maailmassa oli kanadalainen yritys Nutrien, joka kattoi noin viidesosan maailman tuotannosta. Kiinalainen QSL (15 prosentin osuudella), kanadalainen Mosaic Potash (12,8 prosentin osuudella), venäläinen Uralkali (7,9 prosentin osuudella) ja valkovenäläinen Belaruskali (7,5 prosentin osuudella) seurasivat perässä. Viimeisen kymmenen vuoden aikana Uralkalin ja Belaruskalin tuotanto-osuudet ovat selkeästi pienentyneet.⁶⁹⁰ Kaliummarkkinoita määrittää kaksi suurta myyntiyhtymää tai myyntikartellia ja useat pienemmät, itsenäiset yritykset, jotka yhdessä päättävät myytävän kokonaismäärän markkinatilanteen perusteella. Myyntikartelleista toinen on Belarussian Potash Company (BPC), johon kuuluivat Uralkali ja Belaruskali (Uralkali irtautui sopimuksesta vuonna 2013, ks. alla), sekä Canpotex, johon kuuluvat Nutrien ja Mosaic.⁶⁹¹ Myyntikartellien vaikutus maailmanlaajuiseen kaliumin kauppaan on huomattava, sillä markkinakilpailun sijaan ne sopivat yhdessä kaliumin tuotantomääristä määrittäen sen hinnan maailmanmarkkinoilla. Menneisyyden hintaheilahteluista opittiin, että kaliumin kysyntä on varsin joustamatonta ja että hinnat määräytyivät pääasiassa kokonaistarjonnan perusteella.⁶⁹²

Kaliumia koskee sama havainto kuin montaa muuta raaka-ainemarkkinaa: vapaan kilpailun sijaan markkinoita määrittävät markkinaosuuksien jakamista koskevat sopimukset. BPC:n ja Canpotexin hallitsema kaliummarkkinoiden oligopolistinen rakenne ylläpitää jonkin verran hintavakautta, mutta järjestely on myös herättänyt huolta mahdollisesta markkinoiden manipuloinnista ja alttiudesta häiriöille. Uralkali irtautui BPC:stä vuonna 2013, mitä seurasi

688 Morão 2025.

689 Ks. Kooroshy ym. 2014.

690 Rodeja ym. 2025.

691 Kooroshy ym. 2014; Rodeja ym. 2025.

692 Rodeja ym. 2025.

kaliumin hintapudotus.⁶⁹³ Kyseessä on kuitenkin rajallinen resurssi, jonka hinta voi tulevaisuudessa nousta, etenkin jos sen tuottajat haluavat maksimoida voittonsa. Tässä asetelmassa vähemmän varakkailla mailla voi olla vaikeuksia varmistaa riittävä ravinteiden saanti, mikä voi puolestaan myötävaikuttaa ruokaturvan heikentymiseen.⁶⁹⁴

Kaliumin ja typen ohella kasvit tarvitsevat fosforia. EU-maiden osuus maailman **fosforilannoitteiden** tuotannosta on 3 prosenttia, ja ne tuovat maahan 46 prosenttia tarpeestaan.⁶⁹⁵ Euroopassa on osaamista fosfaattikemian alalla, mutta siltä puuttuu aktiiviset fosfaattikivikavokset – Suomea lukuun ottamatta. Suurin osa, eli noin 85 prosenttia louhitusta fosforia sisältävästä fosfaattikivestä käytetään lannoitteissa, 10 prosenttia eläinrehun lisäaineissa ja loput eri teollisuuden ja elintarviketeollisuuden lisäaineissa. Lannoitteita varten fosfaattikivestä valmistetaan **fosforihappoa** (*phosphoric acid*).⁶⁹⁶

Kokonaisuudessaan EU-maat maahantuovat suuret määrät fosforia sitoutuneena rehuihin ja elintarvikkeisiin. Pitkällä aikavälillä ne kerryttävät fosforia maaperään. Fosforia menetetään jatkuvasti paljon, erityisesti päästöinä ympäristöön ja jätteeseen sitoutuneena, ja kierrätyks on alhaisella tasolla lukuun ottamatta lantaa.⁶⁹⁷

Euroopan komissio on määritellyt fosfaattikiven sekä siitä valmistetun fosforin kriittisiksi raaka-aineiksi. Fosfaattikiven, joka toimii lähtökohtana valtaosalle kaupallisesta fosfaattituotannosta, kohdalla EU:n tuontiriippuvuus on 82-prosenttista. 27 prosenttia EU:n käyttämästä *fosfaattikivestä* tulee Marokosta, 24 prosenttia Venäjältä, 17 prosenttia Suomesta ja 10 prosenttia Algeriasta. Koko maailman tuotannosta Kiina kattaa 44 prosenttia, Marokko 14 prosenttia, Yhdysvallat 10 prosenttia ja Venäjä 7 prosenttia.⁶⁹⁸ Toisessa Euroopan komission lähteessä *fosfaattikiven* tuontimaat ja -osuudet vuonna 2023 olivat Venäjä 21 prosentin osuudella, Libanon 19 prosentin, Egypti 16 prosentin, Algeria 15 prosentin ja Marokko 12 prosentin osuudella. *Fosforilannoitteita* tuotiin Marokosta (38,2 prosenttia), Israelista (24,3 prosenttia), Egyptistä (22,7 prosenttia), Tunisiasta (7,8 prosenttia) ja Libanonista (3,8 prosenttia).⁶⁹⁹ Erään lähteen mukaan Venäjän osuus EU:hun tuotavasta fosfaattikivestä on

693 Hart 2014.

694 Rodeja ym. 2025.

695 Fertilizer Europe 2023a.

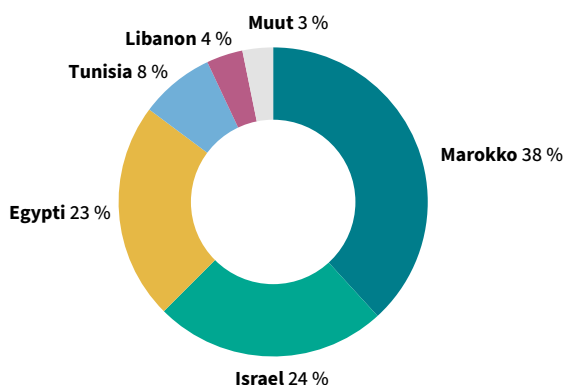
696 Ks. kuva 9; Persona 2025.

697 van Dijk ym. 2016.

698 European Commission 2023d.

699 European Commission 2023g.

Fosforilannoitteet



puolestaan 30 prosenttia.⁷⁰⁰ Viisi maata – Marokko, Venäjä, Yhdysvallat, Saudi-Arabia ja Kiina – hallitsevat yli 80 prosenttia fosfaattikiven globaalista kaupasta. Myös Egypti, Tunisia ja Jordania ovat merkittäviä viejiä, kun taas merkittävistä tuottajista Intia ja Brasilia kattavat pääosin kotimaista kysyntäänsä.⁷⁰¹

Lannoitteiden tuontimäärissä EU:hun on enemmän vaihtelua kuin teollisuuden tuotantopanosten, eli fosfaattikiven, fosforihapon ja valkoisen fosforin tuonnissa. Kaikkien tuotteiden tuonti väheni huomattavasti muun muassa Venäjän hyökkäyssodan aiheuttaman hintojen kohoamisen myötä vuodesta 2021 vuoden 2023 alkuun. Myös lannoitteiden tuotannon keskeytyminen Liettuassa ja Romaniassa on vaikuttanut tuotantomääriin. Euroopan fosfaattien arvoketju on haavoittuva, sillä yritysraenteet ovat vahvasti sidoksissa toisiinsa, eivätkä ne salli paikallisen tuotannon kompensoivan arvoketjun loppupään markkinoiden haasteita. Markkinat alkoivat kuitenkin selkeästi toipua vuoden 2023 toisella puoliskolla, ja esimerkiksi sekä Venäjä että Marokko toivat lähes ennätykselliset volyymit EU:hun vuoden 2024 puolella. Venäläisten *fosforilannoitteiden* markkinaosuus EU:ssa on laskenut 40 prosentista vuosina 2018–2021 25–30 prosenttiin vuosina 2022–2024. Ainakin osa venäläisten lannoitteiden viejistä on pyrkinyt aktiivisesti varmistamaan markkinaosuutensa EU:ssa tarjoamalla hyvin edullisia sopimusehtoja.

Kuva 13. Fosforilannoitteiden tuonti EU:hun vuonna 2023. Lähde: European Commission 2023g.

700 Persona 2025.

701 Persona 2025.

Teoriassa maailman fosforilannoitteiden tuotantokapasiteetti riittäisi kattamaan EU:n kysynnän ilman venäläisiä tuotteita.⁷⁰²

Fosforia sisältävien tuotteiden **maailmanmarkkinoiden keskittymisen** vain muutamille toimijoille tekee **tuotantoketjuista haavoittuvaisia häiriöille**.⁷⁰³ Euroopan tasolla tuonnin monipuolistaminen, euroopalaisten tuotannon ja fosforin kierrätyksen lisääminen voisivat lisätä omavaraisuutta EU:n tasolla. Kiina puolestaan rajoittaa fosfaattituotteiden vientiä⁷⁰⁴ pitääkseen paikalliset hinnat viljelijöille kohtuullisina ja hidastaakseen omien varantojensa ehtymistä. Yhdysvaltoihin tukeutuminen voi vaikeutua kauppakiistojen ja lannoituksen käytön ajallisten päällekkäisyyden vuoksi. Saudi-Arabia voisi olla uusi kasvava toimittaja, jos kolmansia maita koskevat tullit poistettaisiin, mutta kuljetuskustannukset olisivat suuremmat. Euroopan fosfaattiteollisuus voisi myös lisätä omistussuosuuksia ja investointeja uusiin kemiantehtaisiin esimerkiksi Egyptissä, Tunisiassa tai Algeriassa ja etenkin kehittää fosforin talteenottoa jätevirroista.⁷⁰⁵ Pohjoismaissa on joitakin lupaavia fosfaattiesiintymiä esimerkiksi Norjassa ja Suomessa.⁷⁰⁶

Fosfaatin globaalista riittävydestä on kiistelty jo pitkään.⁷⁰⁷ Euroopan komission raportissa, jossa tarkastellessaan erikseen punaista fosforia, esitetään huoli sen loppumisesta 30–40 vuoden kuluttua lannoitteiden ylikäytön vuoksi.⁷⁰⁸ Sen sijaan Kansainvälisen lannoiteyhdistyksen tilaaman selvityksen mukaan fosfaattikiveä riittää louhittavaksi ja jalostettavaksi vielä noin 350 vuoden ajaksi.⁷⁰⁹ Yhdysvaltain geologian tutkimuskeskus arvioi globaalin fosfaattituotantokapasiteetin kasvavan lähivuosina kapasiteetin laajennuksen ja meneillään olevien merkittävien uusien kaivoshankkeiden myötä. Sen mukaan *taloudellisesti hyödynnettävissä* olevat fosfaattikivivarat maailmassa vastaavat 74 miljardia tonnia, kun taas kaikki maailman fosfaattikivivarannot ovat yli 300 miljardia tonnia, eikä fosfaattikivestä ole välitöntä pulaa.⁷¹⁰

Yhdysvaltain geologian tutkimuskeskuksen fosforitietoja on myös kyseenalaistettu siksi, että ne perustuvat yhtiöiden ja hal-

702 Persona 2025.

703 Ks. osio *Geopolitiikka ja kauppapolitiikka*.

704 Chow & Patton 2022.

705 Persona 2025.

706 Donnellon-May 2023; Lintinen 2023; Simon 2023.

707 Ks. Ulrich & Frossard 2014.

708 European Commission 2022b.

709 IFA 2023.

710 U.S. Geological Survey 2025.

lintojen raportointiin, joka on hyvin epäsystemaattista.⁷¹¹ Erään mallinnuksen mukaan maailmanlaajuinen fosfaatin tarjonta laskee alle maailmanlaajuisen tarpeen vuonna 2040, ja fosfaattikiven tuotannon on kaksinkertaistuttava vuoteen 2050 mennessä nykytasoon verrattuna.⁷¹² Lisäksi eläintuotannon kasvava rooli globaalissa ruoantuotannossa nostaa fosforitarvetta 68–148 prosenttia vuoteen 2050 mennessä.⁷¹³ Suurin ja akuutein ongelma lienee kuitenkin fosforin epätasainen jakautuminen maailmassa.⁷¹⁴ Suurin osa tuotetusta fosforista valuu eri tavoin hukkaan tuotantoketjun varrella, etenkin pelloilta, ja merkittävä osa päättyy myös jätevesien mukana luontoon aiheuttaen laajoja ympäristöongelmia.⁷¹⁵

Fosforin niukkuus ymmärretään usein geologisten fosfaattivarantojen koon ja keston perusteella, mutta tutkimuskirjallisuuden perusteella sillä voi ajatella olevan fyysisen niukkuuden lisäksi myös muita ulottuvuuksia: taloudellinen, hallinnollinen, geopoliittinen ja institutionaalinen niukkuus haittaavat kaikki fosforin saatavuutta ja käytettävyyttä. *Hallinnollista (managerial) tehottomuutta* kuvaa se, että fosforia hukkuu tuotantoketjun kaikissa osissa. Fosforilannoitteet voivat olla myös *taloudellisesti* liian kalliita etenkin monille kehittyvien maiden viljelijöille. *Geopoliittisia* niukkuutta ajavia tilanteita voivat aiheuttaa esimerkiksi maiden asettamat vientirajoitteet. *Globaalit instituutiot* eivät kata fosforin kansainvälistä hallintaa, eli sen pitkäaikaista saatavuutta ei pyritä varmistamaan eikä resurssia koske riippumaton seuranta.⁷¹⁶ Vastaavia niukkuuden eri puolia voi tarkastella muihinkin lannoitteisiin ja kriittisiin raaka-aineisiin liittyen.

Fosforihappoa käytetään enenevissä määrin **katodimateriaalina LFP-akuissa**.⁷¹⁷ NMC-akkujen nikkelin ja koboltin sijaan LFP-akuissa on rautaa ja fosfaattia, mikä alentaa akun valmistuksen kustannuksia. LFP-akkujen odotetaan ohittavan suosiossaan NMC-akut tulevina vuosina. Kiina tuottaa 92,7 prosenttia maailman LFP-katodimateriaaleista. Akkujen fosfaattitarve voi ylittää 3,8 miljoonaa tonnia vuoteen 2030 mennessä. Lannoiteteollisuuden fosfaattitarpeeseen nähden tämä on edelleen pieni osa kokonaiskysynnästä, mutta korkealaatuisten fosforin tuotantoa sekä fosforin kierrätystä tulisi tehostaa, jotta vältettäisiin mahdollista kilpailua ruoantuotannon ja energiasiirtymän

711 Ks. Chowdhury ym. 2017.

712 Nedelciu ym. 2020.

713 Chowdhury ym. 2017.

714 Esim. Nedelciu ym. 2020.

715 Brownlie ym. 2023; Nedelciu ym. 2020.

716 Cordell & White 2014; myös Brownlie ym. 2023.

717 ECNR 2025; Persona 2025.

raaka-ainetarpeiden välillä – etenkin kun myös lannoitteiden käyttö kasvaa globaalisti 4,3 prosenttia vuosittain 2024–2032.⁷¹⁸ Maailmanlaajuisen P_2O_5 -kulutuksen (fosforin kiteinen muoto, jossa se esiintyy maaperässä) lannoitteissa ennakoidaan kasvavan 51,8 miljoonaan tonniin vuonna 2028, etenkin Aasian ja Etelä-Amerikan lisääntyvän kulutuksen myötä. Vuonna 2024 maailmanlaajuinen kulutus oli 47,5 miljoonaa tonnia.⁷¹⁹ Mahdollinen kehityskulku on myös se, että kysyntä ei pysy lisääntyneen tuotannon perässä, jolloin fosfaatista syntyisi ylitarjontaa. Tämä painaisi hintoja alas ja pakottaisi pienet ja vähemmän tehokkaat toimijat ajamaan tuotantoaan alas.⁷²⁰

3.4 Ketjuuntuvat vaikutukset tuotantoon

3.4.1 Geopolitiikka ja kauppapolitiikka

Geopoliittisten jännitteiden kasvu, pyrkimykset alueelliseen omavaraisuuteen sekä lannoitesektorin päästöjen hillintä näkyvät hallitusten lisääntyneenä puuttumisena lannoitemarkkinoihin sekä tarjonnan että kysynnän puolella.⁷²¹ Samalla lannoitteiden globaali kysyntä kasvaa. Osa tutkijoista arvelee, että fosfaattikiven ja kaliumin saatavuus heikentyy merkittävästi tuotanto-, kauppa- ja geopolitiittisten riskien takia – ennen kuin maailman varannot varsinaisesti uhkaavat ehtyä. Riippuvuus muutamista tuottajamaista, hintojen ja kysynnän vaihtelut sekä ympäristö- ja logistiikkaongelmat tekevät toimitusketjuista alttiita häiriöille. Toisin sanoen luotettava tarjonta voi olla riittämätöntä vastaamaan kysyntään kaupan esteiden, poliittisen epävakauden ja muiden toimitusketjun tekijöiden vuoksi.⁷²² Rajallisiksi ymmärretyistä resursseista käytävä kilpailu voi johtaa resurssikonflikteihin tai jopa yrityksiin varmistaa varantojen hallinta strategisten investointien tai yritysostojen avulla. Maat ja yritykset, joilla on merkittäviä fosfaattia tai kaliumia sisältäviä varantoja ja tuotantokapasiteettia, voivat vaikuttaa globaaleihin markkinoihin ja geopolitiikkaan ja käyttää resurssejaan poliittisen tai taloudellisen hyödyn saamiseksi.⁷²³

718 ECNR 2025; myös Cordell & White 2014; Spears ym. 2022.

719 U.S. Geological Survey 2025.

720 ECNR 2025.

721 Quitzow ym. 2025.

722 Baker ym. 2024; Chowdhury ym. 2017; Spears 2022.

723 Donnellon-May 2023; Rodeja ym. 2025.

Tutkijat ovat myös varoittaneet häiriöiden ”kaksisuuntaisista” vaikutuksista: paikalliset häiriöt, kuten sään ääri-ilmiöt, voivat vaikuttaa globaaleihin fosforivirtoihin ja globaalit markkinahäiriöt, kuten kauppapoliittiset kiistat, voivat vaikuttaa paikallisiin fosforivirtoihin ja niiden aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin. Paikallisia fosforin hallintapäätöksiä tulisikin tarkastella osana globaalia markkinakehitystä ja riskimaisemaa.⁷²⁴

Lannoitteissa on nähty useita hintapiikkejä. Hintojen kohoaminen voi heijastua satojen määrään ja lopulta ruoan kuluttajahintoihin ja näin heikentää etenkin köyhien maiden ruokaturvaa.⁷²⁵ (Ks. lisää alempana.) Yhdysvaltalaisen etujärjestö *American Farm Bureau Federationin* lannoitemarkkina-analyysin mukaan tuotantopanosten hinnat ovat edelleen erittäin epävakait, ja epävakauden odotetaan jatkuvan. Taustalla ovat nousevat energiakustannukset, kaupan rajoitukset ja alueelliset konfliktit. Tuotannon maantieteellinen keskittyminen tarkoittaa analyysin mukaan sitä, että geopoliittisesta riskistä on tullut lannoitemarkkinoiden pysyvä piirre. Markkinat voivat muuttua nopeasti, mikä heikentää tuottajien mahdollisuuksia ennakoida tuotantokustannuksia. Ukrainan sota ja siihen liittyvät pakotteet vaikuttavat kaupankäyntiin, Lähi-idän jännitteet uhkaavat vaikuttaa fosfaatti- ja maakaasutoimituksiin ja Kiina muuttaa vientipolitiikkaansa lyhyellä varoitusajalla.⁷²⁶

Menneisyydessä on tapahtunut esimerkiksi **kolme hintapiikkiä fosforituotteissa**: öljykriisin aikaan vuonna 1975, globaalin finanssikriisin aikoihin vuonna 2008 ja viimeisimpänä vuonna 2020–2022. 2020-luvun hintojen kohoamisen taustalla on useita tekijöitä: kasvava lannoitteiden kysyntä ja viljojen hintojen nousu (joka kannustaa tuottamaan lisää), viennin geopoliittinen kontrollointi, lisääntynyt bioenergiakasvien viljely, lisääntynyt lihansyönti, koronapandemian aiheuttamat keskeytykset tuotannossa Kiinassa, sään ääri-ilmiöiden aiheuttamat tuotantokeskeytykset Yhdysvalloissa, kohonneet energia- ja kuljetuskustannukset sekä Venäjän hyökkäyssota ja sitä vastaan asetetut sanktiot. Valtiot reagoivat viimeisimpään hintojen kohoamiseen esimerkiksi tukemalla viljelijöiden lannoitehankintoja (Intia), asettamalla tuontitulleja liian edulliseksi katsotuille marokkolaiselle ja venäläiselle fosforilannoitteille (Yhdysvallat) ja kieltämällä kaiken maastaviennin (Kiina). Kiinan tuonnista riippuvaiset maat,

724 Baker ym. 2024.

725 Esim. Chowdhury ym. 2017; ECNR 2025; Leconte-Demarsy & Rice 2025.

726 Esim. Jones & Deuss 2024; Morão 2025; Rodeja ym. 2025.

kuten Australia, Intia, Pakistan ja Kaakkois-Aasian maat sekä Yhdysvallat, joutuivat etsimään korvaavia maahantuojia. Tutkijat varoittavat, että tällaiset kansallisten etujen suojelemiseksi suunnitellut lyhyen aikavälin toimet voivat yhdessä häiritä globaalia kaupan käyntiä entisestään ja vaikuttaa haavoittuvien yhteisöjen ja maiden ruokaturvaan.⁷²⁷

Ylirajaisia makrotalousvaikutuksia mallintaneen CASCADES-hankkeen mukaan Euroopan **ruoantuotantojärjestelmä on kokonaisuudessaan resilientti**, eivätkä ylirajaiset ilmastomuutoksen vaikutukset ole kovin merkittäviä. Hankkeessa kuitenkin varoitetaan vaikutukset jujen monimutkaisuudesta ja niiden kautta tulevista epäsuorista vaikutuksista ja varautumisen tärkeydestä. Venäjän hyökkäyssota mainitaan esimerkkinä siitä, kuinka suurin vaikutus ruokasektoriin aiheutui energiasektorin ja lannoitteiden kautta eikä vientikieltojen vuoksi. Hankkeen mallinnusten ja haastatteluiden mukaan ylirajaiset ilmastovaikutukset aiheuttavat EU:ssa ruoan hinnan kohoamista tai heilahtelua varsinaisen ruoan puutteen sijaan. Ruokasektorin häiriöillä voi olla pitkäaikaisia taloudellisia ja tasa-arvoon liittyviä negatiivisia vaikutuksia, etenkin jos ne tapahtuvat samaan aikaan inflaation ja taloudellisen taantuman kanssa. EU:n ruokasektorin kohtaamat haasteet ovat CASCADES-hankkeen mukaan 'hallittavissa', mikäli politiikkatoimet tukevat resilienssiä ja mikäli tulevat kriisit eivät ylitä vakavuudeltaan menneitä kriisejä. Kun ilmastomuutos kuitenkin jatkaa etenemistään, ovat tulevat shokit todennäköisesti laadultaan ennennäkemättömiä, etenkin jos ylitetään ilmastolle kriittisiä keikahduspisteitä.

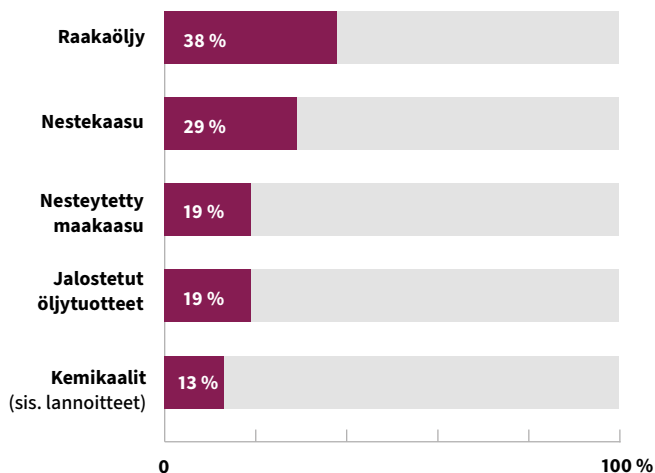
3.4.1.1 Lähi-idän ja Persianlahden kriisiytyminen

Venäjän hyökkäyssodan lisäksi Lähi-idän ja Persianlahden kriisiytyminen osoittaa, miten **alueelliset jännitteet voivat heijastua lannoitteiden saatavuuteen**: Yaran toimitusjohtaja varoitti kesäkuussa 2025, että Lähi-idän kriisi voi pahentaa globaalia ruokakriisiä häiritsemällä lannoitteiden tuotantoa. Tuolloin Israelin, Yhdysvaltojen ja Iranin välinen konflikti eskaloitui lukuisiksi ilmaiskuiksi. Iran sulki kaikki ammoniakkitehtaat turvallisuussyistä, kun taas Israel sulki kaasukentän Iranin mahdollisen vastahyökkäyksen vuoksi, mikä puolestaan keskeytti lannoitteiden tuotannon Egyptissä. Monet olivat huolissaan myös lannoitekuljetusten jatkuvuudesta Hormuzinsalmella.⁷²⁸

727 Ks. Brownlie ym. 2023; myös Chowdhury ym. 2017; Morão 2025.

728 Savage 2025.

Lähi-idän ja Persianlahden kriisiytyminen



28. helmikuuta 2026 **konflikti Yhdysvaltojen, Israelin ja Iranin välillä** eskaloitui jälleen aseelliseksi. Iranin on uutisoitu miinoittaneen Hormuzinsalmea, ja laivaliikenne on lähes täysin pysähtynyt alueella. Hormuzinsalmi muodostaa Persianlahden ainoan pääsyn avomerelle. Viikko ennen konfliktin eskalaatiota salmen kautta kulki 38 prosenttia maailman meriteitse kuljetetusta raakaöljystä, 29 prosenttia nestekaasusta, 19 prosenttia jalostetuista öljytuotteista, 19 prosenttia nesteytetystä maakaasusta ja 13 prosenttia kemikaaleista, joihin sisältyvät lannoitteet. Suurin osa tästä kuljetetusta raakaöljystä ja nesteytetystä maakaasusta suuntautui Aasian markkinoille ja pienempi osa Eurooppaan (5 prosenttia raakaöljystä ja 13 prosenttia nesteytetystä maakaasusta).⁷²⁹

Peräti **kolmasosa maailman meriteitse kuljetetuista lannoitteista kulki Hormuzinsalmen kautta**. Persianlahden alue, erityisesti Iran, Qatar ja Saudi-Arabia, tuottaa maailman yleisimmin käytettyä typpilannoitetta ureaa (36 prosenttia maailman viennistä), diammoniumfosfaattia (DAP; 26 prosenttia maailman viennistä) ja monoammoniumfosfaattia (MAP; 13 prosenttia maailman viennistä). Maita, joiden lannoitetuonista Persianlahden alue kattaa merkittävän osan ovat muun muassa Sudan, Sri Lanka, Australia, Tansania, Somalia, Pakistan, Thaimaa,

Kuva 14. Hormuzinsalmen kautta kulkevan maailmanlaajuisen merikaupan osuus viikkoa ennen konfliktin puhkeamista. Lähde: UNCTAD 2026.

⁷²⁹ UNCTAD 2026; myös Curtis ym. 2026.

Kenia ja Uusi-Seelanti. Myös Brasilia – maailman suurin soijapapujen, maissin, kahvin, sokerin ja naudanlihan viejä – maahantuo lähes kaiken lannoiteteollisuutensa tarvitsemista raaka-aineista, ja esimerkiksi noin 40 prosenttia sen ureatuonnista kulki Hormuzinsalmen kautta. Persianlahden LNG-toimitusten väheneminen koettelee lisäksi Intian ja Pakistanin kaltaisia maita, joiden oma lannoitetuotanto on vahvasti riippuvainen Persianlahden kaasusta, joskin lannoite-, riisi- ja vehnävarastot tarjoavat niille puskuria. Saudi-Arabia kattoi myös 29 prosenttia maailman ammoniakkin viennistä, kun taas sen suurimmat tuojamaat olivat Intia, Etelä-Korea, Marokko, Japani, Etelä-Afrikka ja Yhdysvallat.⁷³⁰

Öljyn ja kaasun jalostuksen sivutuote **rikki** on keskeinen raaka-aine fosforilannoitteiden valmistuksessa. Tällä hetkellä (keväällä 2026) lähes puolet maailman rikkikaupasta häiriintyy konfliktin takia. Jos energiankuljetukset salmen kautta pysyvät rajoitettuina ja rikin tuotanto laskee polttoaineviennin mukana, monien maiden kyky tuottaa fosforilannoitteita heikkenee.⁷³¹

Konfliktin myötä laivojen vakuutusmaksut ja polttoaineen hinta ovat kohonneet huomattavasti.⁷³² Suuret merivakuutusyhtiöt ovat alkaneet peruuttaa alueen alusten sotariskivakuutuksia, ja konflikti on rajoittanut kauppaa myös Punaisenmeren ja Bab al-Mandabin salmen alueella.⁷³³ Lisäksi konfliktin eri osapuolet ovat vahingoittaneet tuotantolaitoksia ja vientikeskuksia, kuten Ras Laffanin teollisuuskaupunkia Qatarissa (LNG) ja Iranin Khargin saarta (öljy).⁷³⁴ Maaliskuun lopussa Algeria vähensi lannoitetehtaille toimitettavaa kaasua noin 50 prosentilla, kun taas Euroopassa ainakin yksi slovakialainen lannoitetehdas on keskeyttänyt tuotantonsa. Vastaavia toimituskatkoksia ja tuotannon alasajoa on nähty esimerkiksi Intiassa, Pakistanissa ja Bangladeshissa.⁷³⁵ Saudi-Arabia ja Arabiemiirikunnat voivat ohjata osan raakaöljyntuotannostaan putkistoja pitkin välttääkseen Hormuzinsalmen, mutta Kuwaitilla, Qatarilla ja Bahrainilla ei ole lehtitietojen mukaan vaihtoehtoisia reittejä.⁷³⁶

730 Fonseca 2026; Hebebrand ym. 2026; Mukherji 2026; UNCTAD 2026; myös Curtis ym. 2026; Global Agriculture 2026.

731 Curtis ym. 2026; Hebebrand ym. 2026.

732 Curtis ym. 2026; Fonseca 2026; Global Agriculture 2026; Hebebrand ym. 2026; Surucu-Balci & Balci 2026; UNCTAD 2026.

733 Curtis ym. 2026; Eavis 2026.

734 Hebebrand ym. 2026.

735 Chandrasekhar ym. 2026; Savage ym. 2026.

736 Chandrasekhar ym. 2026.

Persianlahden alueen häiriöt aiheuttavat **riskejä maailmanlaajuisille maatalousmarkkinoille**. Toisin kuin vuoden 2022 hintapiikin aikoihin, maataloustuotteiden hinnat eivät ole vielä nousseet niin, että ne hyvittäisivät viljelijöille kalliimmat tuotantokustannukset. Pitkäkestoisten häiriöiden vaikutukset voivat näkyä maailmanlaajuisesti tuotantokustannusten nousuna, satojen pienenemisenä ja elintarvikkeiden hintojen nousuna. Etenkin maakaasun hinnan ko hoamisen odotetaan nostavan jälleen lannoitteiden hintaa kaikkialla maailmassa. Esimerkiksi Kaakkois-Aasian urean hinnat olivat nousseet yli 40 prosenttia reilun viikon kuluttua konfliktin eskaloitumisen jälkeen, ja Egyptin urean hinta oli noussut helmikuun hinnoista yli 60 prosenttia huhtikuun alkuun mennessä.⁷³⁷ Pohjoisella pallonpuoliskolla monet viljelijät ovat jo hankkineet tuotantopanokset kevätkylvöä varten – joskin erään arvion mukaan 25 prosenttia Yhdysvaltojen viljelijöistä on viivästyttänyt lannoiteostojaan. Pitkittynyt konflikti voisi kuitenkin ennen kaikkea vaikuttaa kylvöpäätöksiin ja satoihin köyhemmissä maissa.⁷³⁸ YK:n Maailman ruokaohjelman mukaan akuutista nälästä kärsivien ihmisten määrä voi nousta enätyslukemiin tänä vuonna, jos konflikti pitkittyy.⁷³⁹ Euroopan keskuspankki arvioi muutama vuosi sitten, että jos Hormuzinsalmen kautta kulkevien öljy- ja kaasutoimitusten määrä vähenisi kolmanneksella, inflaatio Euroalueella nousisi 0,8 prosenttiyksikköä.⁷⁴⁰

Hormuzinsalmen sulkua vaikuttaa tietysti myös Persianlahden maiden tuontiin, mikä voi uhata jopa niiden ruokaturvaa. Esimerkiksi Qatar maahantuo yli 90 prosenttia elintarvikkeistaan, ja suurin osa niistä saapuu meriteitse. Elintarvikkeiden kuljettaminen on mahdollista maanteitse, mutta huomattavasti rajatummalla kapasiteetilla ja korkeammilla kustannuksilla.⁷⁴¹

Samanaikaisesti konflikti pahentaa **Iranin jo ennestään vakavaa vesikriisiä**, jota jo kuusi vuotta jatkunut kuivuus, ilmastomuutos ja vesivarojen heikko hallinta ovat syventäneet. Sodan vaikutukset – kuten infrastruktuurivauriot ja iskut esimerkiksi suolanpoistolaitoksiin – voivat entisestään lisätä veden niukkuutta ja vaikeuttaa alueen kykyä sopeutua muuttuvaan ilmastoon. Ilmastomuutos on heikentänyt alueen vesiturvallisuutta helleaaltojen, epäsäännöllisten sateiden ja hupenevien vesivarantojen kautta. Tutkimusten mukaan vakavat

737 Curtis ym. 2026; Partridge 2026; Savage 2026; Surucu-Balci & Balci 2026.

738 Glauber 2026; Savage ym. 2026.

739 Partridge 2026.

740 Storbeck 2026.

741 Glauber 2026; Surucu-Balci & Balci 2026.

kuivuusjaksot tulevat lisääntymään alueella. Useat alueen valtiot ovat juomaveden saannin osalta suurelta osin riippuvaisia suolanpoistolaitoksista (Kuwait 90-prosenttisesti, Oman 86-prosenttisesti ja Saudi-Arabia 70-prosenttisesti), jotka sijaitsevat Persianlahden rannikolla altistuen mahdollisesti Iranin ohjusiskuille. Sen sijaan Iranin valtion vesilaitoksen edustajan mukaan vain 3 prosenttia maan juomavedestä tuotetaan suolanpoistolaitoksissa.⁷⁴²

Aseellisesta konfliktista aiheutuvat energia- ja lannoiteriskit tapahtuvat myös ilmastomuutoksen kontekstissa: *El Niño* -ilmiön ennakoidaan palaavan tänä vuonna erittäin voimakkaana ”super-*El Niño*” – tuoden mukanaan sateiden epäsäännöllisyyttä, kuivuutta joillakin alueilla ja tulvia toisilla. Joidenkin ennusteiden mukaan tästä *El Niñosta* saattaisi tulla yksi kaikkien aikojen voimakkaimmista. Lisäksi alkuvuoden lämpötilojen perusteella on arveltu, että vuodesta 2026 voi tulla kaikkien aikojen toiseksi lämpimin vuosi, mutta *El Niñon* vaikutusten huippu voi ajoittua vasta vuodelle 2027, mikä voi tehdä siitä vielä lämpimämmän. Viljelylle vaikeiden sääolosuhteiden yhdistyminen lannoitteiden mahdolliseen vähyteen on joidenkin kasvien satojen, kuten riisin, kannalta erittäin vaikea yhdistelmä. Samaan aikaan monet aasialaiset valuutat ovat menettäneet kriisissä arvoaan suhteessa Yhdysvaltojen dollariin, mikä on nostanut elintarvikkeiden ja energian tuontikustannuksia.⁷⁴³ Syy-seuraussuhteita analysoivan tutkimuksen mukaan lämpimät *El Niño* -olosuhteet liittyvät geopoliittisen riskin kasvamiseen verrattuna viileämpiin olosuhteisiin globaalilla tasolla. Vaikutus geopoliittiseen riskiin on voimistunut viime vuosikymmeninä, ja se on suuruudeltaan verrattavissa suuren valtioiden välisen sodan puhkeamiseen.⁷⁴⁴

Tilanne korostaa fossiilisiin **polttoaineisiin perustuvan järjestelmän alttiutta geopoliittisille kriiseille**. Kriisi voi lisätä poliittista painetta nopeuttaa uusiutuvan energian käyttöönottoa ja sähköistämistä, jotta maat vähentäisivät riippuvuuttaan tuontienergiasta ja epävakasta fossiilimarkkinoista. Samalla korkeat energiahinnat ja taloudellinen epävarmuus voivat toisaalta myös hidastaa energiasiirtymää, koska ne lisäävät inflaatiota ja rahoituskustannuksia, mikä tekee puhtaan energian investoinneista kalliimpia.⁷⁴⁵ Konflikti voi myös pahentaa ilmastomuutosta sitä kautta, että tuontikeskeytyksistä kärsivät maat tukeutuvat energiantuotannossaan ja mahdollisesti

742 Chandrasekhar ym. 2026; Keating ym. 2026; Nereim 2026.

743 Canon 2026; Hausfather 2026; Mukherji 2026; Savage ym. 2026.

744 Hendrix 2024.

745 Chandrasekhar ym. 2026.

lannoitetuotannossaan entistä enemmän kivihiileen maakaasun sijaan – joskin tämän vaikutuksen on onneksi arvioitu jäävän maltilliseksi.⁷⁴⁶ Riskinä energiasiirtymän kannalta on myös se, että valtiot (mm. Yhdysvallat ja Kanada) saattavat vauhdittaa tilanteeseen vedoten esimerkiksi LNG-infrastruktuuri-investointeja, mikä lukitsee niiden energiajärjestelmiä entistä tiukemmin fossiiliselle polulle.⁷⁴⁷ Kriisitilanne on tehnyt lisäksi biopolttoaineiden tuotannosta houkuttelevampaa, ja mikäli maataloustuotteita ohjataan yhä laajemmin niiden tuotantoon, voivat elintarvikkeiden hinnat kohota senkin vuoksi.⁷⁴⁸

Myös niin sanottu **arabikevät** (noin 2010–2012) vaikutti voimakkaasti maailmanlaajuiseen fosfaattikivituotantoon. Arabikevään poliittisen liikehdinnän maissa työntekijöiden ja fosfaattiyhtiöiden väliset kireät työ- ja palkkasuhteet johtivat kaivostoiminnan ja vienin merkittävään supistumiseen.⁷⁴⁹

Israel on jokseenkin merkittävä toimija EU:n lannoitehuollossa vastaten noin 17,1 prosentista EU:n kaliumlannoitteiden tuonnista ja 24,3 prosentista fosforilannoitteiden tuonnista vuonna 2023. Valko-Venäjälle asetettujen pakotteiden myötä kaliumtuotteiden tuonti Israelista kasvoi kuudesta prosentista vuonna 2019 yli 17 prosenttiin vuonna 2023.⁷⁵⁰ Riippuvuus Israelissa valmistetuista tuotteista tekee EU:sta haavoittuvan alueen geopolittisille jännitteille. Esimerkiksi vuonna 2023 aktiiviset konfliktialueet sijaitsivat lähellä ICL:n ja Haifa Chemicalsin ylläpitämiä suuria fosfaatti- ja kaliumtuotantolaitoksia ja niiden toimintaan liittyvää kriittistä logistiikkainfrastruktuuria. Toinen riski liittyy mahdolliseen pakotepolitiikkaan siinä tapauksessa, että kansainvälinen yhteisö päättäisi puuttua Israelin toimiin Gazassa. Israeliin kohdistetut pakotteet voisivat sisältää taloudellisia rajoituksia, kauppasaartoja, rahoitus- ja investointikieltoja sekä diplomaattisia toimia. EU:n lannoiteteollisuuden riippuvuus Israelista voisi vaikeuttaa pakotteiden toteuttamista, sillä ne heijastuisivat unionin maatalouteen.

3.4.1.2 Kiina lannoitemarkkinoilla

Viimeisen parin vuosikymmenen aikana **Kiina on noussut maailman suurimmaksi typpi- ja fosforilannoitteiden tuottajaksi ja viejäksi**. Se

⁷⁴⁶ Gabbatiss 2026.

⁷⁴⁷ Hebebrand ym. 2026; Noor 2026.

⁷⁴⁸ Hebebrand ym. 2026; Mukherji 2026.

⁷⁴⁹ de Ridder ym. 2012.

⁷⁵⁰ European Commission 2023g.

on merkittävä urean (typpilannoite) tuottaja, joka kattaa noin kymmenesosan maailman viennistä.⁷⁵¹ Fosfaattivarantojen osalta Kiina on kymmenen suurimman maan joukossa. Kiina on omavaraisuuspyrkimyksissään lisännyt kivihiileen perustuvaa ammoniakki-tuotantoa, josta aiheutuu korkeammat hiilidioksidipäästöt kuin maakaasupohjaisesta tuotannosta. 85 prosenttia Kiinan ammoniakki-tuotannosta perustuu nykyään kivihiilen kaasutustekniikoihin.⁷⁵²

Suurena toimijana Kiina vaikuttaa lannoitemarkkinoihin. Käytännössä tämä tarkoittaa, että yhden maan poliittiset valinnat voivat muuttaa viljelyn kustannuksia kokonaisilla mantereilla.⁷⁵³ Kiina on useita kertoja asettanut lyhyellä varoitusajalla vientisäännöksiä lannoitteita koskien ja näin aiheuttanut epävarmuutta markkinoille. Esimerkiksi vuoden 2025 alusta alkaen se on rajoittanut fosfaatin ja urean vientiä vaikuttaen maailmanlaajuiseen saatavuuteen ja nostaan lannoitteiden hintoja.⁷⁵⁴ Kiinan vuonna 2024 asettamat lannoitteiden vientirajoitteet saivat monet Afrikan valtiot lisäämään pyrkimystä tuonnin hajauttamiseksi.⁷⁵⁵ Muut tuottajat eivät ole pystyneet korvaamaan Kiinasta menetettyjä vientimääriä ainakaan fosfaattimarkkinoilla.⁷⁵⁶ Kiina yllätti markkinat vuonna 2008 asettamalla 100–135 prosentin vientitullin fosfaattikivelle ja -lannoitteille. Samana vuonna fosfaattikiven hinta nousi 800 prosenttia.⁷⁵⁷

3.4.1.3 Venäjän hyökkäyssota

Venäjän hyökkäyssota on aiheuttanut lannoitteiden ja niiden raaka-aineiden maailmanmarkkinoiden häiriintymisen ja uudelleenjärjestäytymisen. Venäjä alkoi itse rajoittaa lannoitteiden maastavientiä ja pienentää maakaasutoimituksia jo ennen sotaa.⁷⁵⁸ Ukraina on iskenyt joitain kertoja lannoitetehtaisiin Venäjällä,⁷⁵⁹ luultavimminkin siksi, että osa lannoitteiden raaka-aineista on kaksikäyttöt tuotteita. Ammoniakki rooli sotatieteellisyydessä on ratkaiseva, sillä se on välttämätön ainesosa typpihapossa, jota käytetään lannoitteiden lisäksi räjähteissä.⁷⁶⁰ Sodan myötä Ukrainan lannoitetuotanto on häiriintynyt

751 Quitzow ym. 2025; Rostoum 2025.

752 Quitzow ym. 2025.

753 Rostoum 2025.

754 Esim. Jones & Deuss 2024; Leconte-Demarsy & Rice 2025; Niskanen 2022; Persona 2025.

755 ECNR 2025.

756 Leconte-Demarsy & Rice 2025.

757 Brownlie ym. 2023; Cordell & White 2014.

758 Jones & Deuss 2024; Onali 2022a.

759 Esim. Khomenko 2026; Kokkonen 2026.

760 Cohen & Sanchez Manzanaro 2025.

vakavasti, mikä on entisestään kiristänyt maailmanlaajuista saatavuutta. Ukraina tuottaa tyypillisesti typpipohjaisia lannoitteita, erityisesti ammoniumnitraattia, urea-ammoniumnitraattia ja ureaa. Venäjän hyökkäyssodan alussa Ukraina kielsi hetkellisesti lannoitteen maastaviennin turvatakseen lannoitteiden riittävyyden.⁷⁶¹

EU on asettanut pakotteita yksittäisille venäläisille ja valko-venäläisille lannoiteteollisuuteen liittyville yrityksille ja henkilöille vuodesta 2004 alkaen. Myös maksuliikenteeseen kohdistuvat pakot teet vaikuttavat lannoitekauppoihin.⁷⁶² EU on kieltänyt kaliumkloridin tuonnin Valko-Venäjältä⁷⁶³ ja rajoittanut sen tuontia Venäjältä.⁷⁶⁴ Fosforia sisältäviin yhdistelmälannoitteisiin kohdistuu erinäisiä tuontirajoitteita Venäjältä⁷⁶⁵ ja tuontikielto Valko-Venäjältä.⁷⁶⁶ EU lopettaa venäläisen maakaasun tuonnin vaiheittain vuoden 2026 alusta alkaen.⁷⁶⁷ Huhtikuussa 2026 ilmoitettiin myös venäläiselle ammoniakille asetettavasta vuotuisesta tuontikiintiöstä, joka vastaa vuoden 2025 tuontimäärää.⁷⁶⁸

Merkittävintä EU:n ammoniakkitehtaiden kannalta on maakaasun hinta ja saatavuus, joka heijastuu myös typpilannoitteiden hintoihin.⁷⁶⁹ Jo ennen Venäjän hyökkäyssotaa maakaasun hinnan tullaantuminen nosti lannoitteiden hintaa. Lannoitteiden hinnoittelu oli vaikeaa energiamarkkinoiden rajujen hinnanmuutosten vuoksi, mikä keskeytti myynnin useaan otteeseen vuonna 2022. Yaran kaliumsulfaattitehtaan tuotantoa Kokkolassa jouduttiin rajoittamaan, koska raaka-aineiden saatavuus hankaloitui.⁷⁷⁰ Fertilizers European mukaan lähes 70 prosenttia Euroopan lannoitetuotannosta oli pysähdyksissä elo-syyskuussa 2022, kun ammoniakki otetaan huomioon. Elokuussa tuotannosta oli seisahduksissa jopa puolet. Vaikka tuotanto elpyi loppuvuotta kohti, joulukuussakin kolmannes oli edelleen poissa käytöstä. Hinnat kuitenkin laskivat huipustaan, koska tarjonta ylitti kysynnän, myyjien varastot kasvoivat ja kaasun hinta laski. Tuotantomäärät elpyivät ja koronaan liittyvät logistiikkaongelmat poistuivat.⁷⁷¹

761 Esim. Jones & Deuss 2024; Onali 2022a.

762 Ks. European Commission n.d.c; Hiilamo 2022; Onali 2022b.

763 Council Regulation EU 2021/1030.

764 Council Regulation EU 2022/576; Tulli 2022.

765 Council Regulation EU 2022/576.

766 Council Regulation EU 2021/1030.

767 Euroopan parlamentti 2025; Paakkanen & Salmela 2025.

768 European Commission 2026c.

769 Niskanen 2022.

770 Hiilamo 2022; Kluukeri 2022; Luukkonen 2023.

771 Fertilizers Europe 2022; Ylhäinen 2023.

Logistiikan turvaaminen on tärkeä tekijä epäorgaanisten lannoitteiden huoltovarmuudelle Suomen näkökulmasta. Etenkin merikuljetusten jatkuvuus on tärkeää,⁷⁷² mutta haastateltavat korostavat myös itärajan ja junaliikenteen merkitystä. Huoltovarmuusorganisaation maakuljetuspoolin raportti vuoden 2022 joulukuulta erittelee, miten Venäjän **hyökkäyssota muutti Suomelle kriittisiä kuljetusvirtoja**. Ammoniakin ja lannoitteiden kuljetukset siirtyivät Saimaan vesireiteiltä rautateille hyökkäyssodan myötä. Saimaan kanava on ollut kuitenkin auki, mutta eurooppalaiset varustamot välttelevät sitä, mikä on vaikuttanut lannoitteiden lisäksi myös puu- ja sementtikuljetuksiin. VR:n idän kuljetukset olivat kuitenkin päättymässä vuoden 2022 lopussa, ja raportin mukaan valtaosa ammoniakin, kalusuolan ja urean rautatiekuljetuksista oli loppumassa ja niiden jatko oli epävarma. Venäläisiä lannoitteita tuotiin ”ainakin toistaiseksi” vielä merikuljetuksina HaminaKotkan kautta, josta lähes kaikki on transitoliiikennettä Venäjältä, eli Suomi on vain matkan välietappi.⁷⁷³ Tämän tutkimuksen haastateltavat kuitenkin täydentävät, että ammoniakkia tuodaan edelleen rautatiekuljetuksina Suomeen vuonna 2025.

Luke arvioi, että globaalit markkinat turvaavat typpilannoitteiden saannin Suomessa, mutta **huoltovarmuuteen kohdistuvat riskit kasvavat Venäjän hyökkäyssodan pitkittyessä**. Tilat kohtaavat taloudellisia haasteita, mikäli lannoitteiden hintataso pysyy pitkään korkeana.⁷⁷⁴ Sodan osapuolet vahingoittavat toistensa kriittistä infrastruktuuria, mikä vaikuttaa myös lannoitteiden tuotantoketjuun: esimerkiksi erään lähteen mukaan kesällä 2025 ukrainalaiset droonit vahingoittivat venäläistä ammoniakin tuotantoa.⁷⁷⁵ Ongelmallisia ovat myös tilanteet, joissa samaan aikaan muiden tuotantopanosten hinta kohoaa, kuten energian ja eläinten rehun hinnan noustessa vuonna 2021 yli 50 prosenttia tavanomaista korkeammalle samaan aikaan kun lannoitteiden hinnat olivat korkeat.⁷⁷⁶ Suomessa lannoiteteollisuus ja Huoltovarmuuskeskus varastoivat ammoniakkia niin, että ainakaan lyhyet toimitushäiriöt eivät keskeytä tuotantoa. Valmiita lannoitteita varastoivat käytännössä viljelijät seuraavaa kasvukautta varten.⁷⁷⁷ Vastauksena Venäjän hyökkäyssotaan hallitus laati kotimaista ruoantuotantoa tukevan 300 miljoonan euron

772 Niskanen 2021.

773 Destia 2022.

774 Niskanen 2022.

775 Cary 2025.

776 Destia 2022.

777 Järvenranta, Kapuinen ym. 2022; Niskanen 2021.

arvoisen huoltovarmuuspaketin, jossa osoitettiin tukea muun muassa kierrätyslannoiteinvestointeihin.⁷⁷⁸

Kun pääosa EU:n Venäjä-pakotteista kohdistui maakaasuun, vaikutti siltä, että Venäjä käytti kaasua lannoitteiden tuotantoon ja niiden viennin lisäämiseen.⁷⁷⁹ **Venäjän lannoitteiden vienti EU:hun kasvoi** yli 33 prosenttia pelkästään vuonna 2024 ja saavutti 6,2 miljoonaa tonnia, arvoltaan yli 2,2 miljardia euroa. Tämä pakotteista vapautettu kauppa tuotti Venäjän valtiolle arviolta 550 miljoonaa euroa verotuloja. Puola, suurin venäläisten lannoitteiden ostaja, yli kaksinkertaisti ostonsa vuonna 2024. Venäläiset yritykset ovat hyödyntäneet maailmanlaajuisesti Venäjän hyökkäyssodan jälkeistä hintavaihtelua tarjoamalla lannoitteita yli 20 prosentin alennuksilla, mikä on mahdollistanut niiden markkinaosuuden kasvun. Tämä näkyy hyvin esimerkiksi Latinalaisessa Amerikassa, jossa muun muassa Brasiliasta on tullut maailman suurin markkina-alue venäläisille lannoitteille.⁷⁸⁰ Venäjä onkin nyt pyrkinyt kasvattamaan vaikutusvaltaansa ja solmimaan kauppasuhteita Latinalaisen Amerikan ja Afrikan valtioiden kanssa.⁷⁸¹

Neuvosto hyväksyi 12. kesäkuuta 2025 asetuksen, jolla **otetaan käyttöön tullit Venäjältä ja Valko-Venäjältä** peräisin oleville maatalous-tuotteille ja **tietyille tyypipohjaisille lannoitteille**. 1. heinäkuuta alkaen kaikki Venäjältä peräisin olevat maataloustuotteiden tuonnit ovat EU:n tullien alaisia. Venäjän maataloustuotteiden ja lannoitteiden vienti kolmansiin maihin ei asetuksen myötä muutu.⁷⁸² Asetuksen myötä tietyille Venäjältä ja Valko-Venäjältä tuoduille tyypipohjaisille lannoitteille ja esimerkiksi NPK-lannoitteille asetetaan 6,5 prosentin tulli. Lisäksi vuosille 2025–2026 määrätään 40–45 euron suuruinen maksu tonnia kohti, joka nousee asteittain kolmen vuoden siirtymäkauden aikana ja saavuttaa 430 euroa tonnia kohti vuonna 2028.⁷⁸³ Jotkut eurooppalaiset lannoitealan toimijat ovat vaatineet voimakkaita lannoitetuontia koskevia toimenpiteitä,⁷⁸⁴ kun taas viljelijät ovat esittäneet huolta tullien vaikutuksista tuotantokustannuksiinsa ja lopulta näin myös kuluttajahintoihin.⁷⁸⁵ Tämän tutkimuksen haastateltavat korostivat, että asetukseen sisältyy mahdollisuus peruuttaa tullit, mikäli ruoan hinta

⁷⁷⁸ MMM 2022; n.d.

⁷⁷⁹ Savage & Moore 2025; Savage 2025.

⁷⁸⁰ Vladimirov 2025.

⁷⁸¹ Vladimirov & Osipova 2024.

⁷⁸² European Council and Council of the European Union 2026; Council of the European Union 2025.

⁷⁸³ Blenkinsop 2025; European Commission 2025f.

⁷⁸⁴ Savage & Moore 2025.

⁷⁸⁵ Prudeau 2025.

nousee liikaa.⁷⁸⁶ Tuontitullit eivät koske lannoitteiden tuotantoa var-
ten tuotua ammoniakkia, mutta ammoniakin tuontiin kohdistuu EU:n
hiilirajamekanismi, mikäli valmistettavat lannoitteet käytetään Euroo-
passa. Kolmansiin maihin vietävien tuotteiden valmistusta ei rajoiteta.
Lisäksi, kuten aiemmin todettu, huhtikuussa 2026 komissio ilmoitti
myös tuontikiintiöstä venäläiselle ammoniakille.

Vuoden 2024 tietojen perusteella kaliumin tuotanto Valko-Ve-
näjällä on toipunut sille vuonna 2022 asetetuista pakotteista, mutta
maan kaliumin vienti oli edelleen huomattavasti vähäisempää kuin
ennen vuotta 2022, jolloin Liettua irtisanoi sopimuksen, joka an-
toi Valko-Venäjälle oikeuden viedä kaliumia Klaipėdan satamasta.
Vuonna 2024 Valko-Venäjä vei kaliumia useiden Venäjän satamien
kautta ja lähetti myös rahtilähetyksiä rautateitse, pääasiassa Kii-
naan.⁷⁸⁷ Yhdysvallat on kuitenkin alkanut purkaa Valko-Venäjään
kohdistuvia pakotteita vuonna 2025,⁷⁸⁸ ja joulukuussa se ilmoitti
purskavansa kaliumlannoitteisiin kohdistuvat pakotteet samalla kun
Valko-Venäjä vapautti poliittisia vankeja.⁷⁸⁹ Vuoden 2026 alkupuolella
Venäjä on myös edelleen EU:n toiseksi suurin LNG-toimittaja, vaikka
unionin tavoitteena onkin lopettaa venäläisen kaasun tuonti asteit-
tain. Vuoden 2026 ensimmäisellä neljänneksellä venäläisen LNG:n
tuonti kasvoi 16 prosenttia edellisvuodesta. Toimituksia on erityisesti
Ranskaan, Espanjaan ja Belgiaan.⁷⁹⁰

3.4.2 Ilmastomuutoksen suorat vaikutukset

Ilmastomuutoksen suorat vaikutukset lannoitteiden valmistukseen
ovat luultavasti rajallisia, ja suurin osa haavoittuvuuksista liittyy
siirtymävaikutuksiin, joita käsitellään osiossa *Kestävyyssiirtymä
lannoitteissa*. Tutkimusta ilmastomuutoksen suorista vaikutuksista
lannoitteiden tuotantoon ei juurikaan ole, mutta julkisissa lähteissä
on useita mainintoja yksittäisten tuotantolaitosten häiriöistä, jotka
johtuvat sään ääri-ilmiöistä, joita ilmastomuutos tulee lisäämään.
Lannoitteiden tuotanto voi altistua esimerkiksi kuivuudelle,
kylmyydelle tai helteille, ja osa tuotantolaitoksista sijaitsee alueilla,
joissa hurrikaanit, tulvat tai rankkasateet ovat todennäköisiä. Tämän
tutkimuksen haastateltavat arvioivat, että ilmastomuutoksen
suorat vaikutukset lannoiteteollisuudelle jäävät maltillisiksi. Sään

⁷⁸⁶ Ks. myös Gupte & Warner 2026.

⁷⁸⁷ Sytas 2025; U.S. Geological Survey 2025.

⁷⁸⁸ Lewis & Psaledakis 2025.

⁷⁸⁹ Aittokoski 2025; Krychkovska & Petrenko 2025.

⁷⁹⁰ Shipping Telegraph 2026.

ääri-ilmiöiden yleistyminen lisää kuitenkin myös lannoiteteollisuuden logistiikkaketjujen haavoittuvuutta, sillä esimerkiksi tulvat, myrskyt ja poikkeukselliset lämpötilat voivat häiritä kuljetuksia, varastointia ja satamatoimintoja.

Typpeen keskittyvässä analyysissä on todettu, että energian hinnan nousu saattaa johtaa lannoitteiden tuotantokapasiteetin laskuun Euroopassa, mikä lisää markkinoiden vaihtelua. Kapasiteettia voi olla pois käytöstä myös sääolosuhteiden takia.⁷⁹¹ Esimerkiksi eräs haastateltava kuvaa, että talven raju kylmyys on haitannut lannoitetuotantoa Itä-Euroopassa ja arvelee, että kuumuus voi vaikuttaa vastaavasti. Toinen haastateltava puolestaan pohti, että lämpimät olosuhteet hidastavat lannoitetuotannon jäähdytys- ja käsittelyvaiheita, mikä heikentää prosessin energiatehokkuutta ja siten vaikeuttaa päästöjen vähentämistä. Kolmas haastateltava arveli, että Keski-Euroopassa maakaasua tarvittaisiin laajasti lämmitykseen kylmän jakson aikana, jolloin voisi syntyä tilanne, jossa energian saatavuus kiristyy ja kaasua priorisoidaan kotitalouksien ja energiantuotannon tarpeisiin. Tällöin lannoitetuotanto saattaa jäädä toissijaiseksi käyttökohteeksi ja tuotantoa joudutaan rajoittamaan. Suomessa kuivat ajanjaksot kasvukausien aikana yleistyvät, mikä voi heikentää typpilannoituksen hyväksikäyttötehokkuutta. Luke onkin ehdottanut kastelujärjestelmien kannattavuuden arviointia näissä olosuhteissa.⁷⁹²

Yhdysvaltojen fosforituotanto on arvioitu haavoittuvaksi sään ääri-ilmiöille, sillä monet tuotantolaitokset sijaitsevat hurrikaani- ja tulva-alueilla.⁷⁹³ Myös ammoniakkin tuotanto on häiriintynyt sään ääri-ilmiöiden vuoksi Yhdysvalloissa, kun CF Industries, johtava maailmanlaajuinen vety- ja typpituotteiden valmistaja, joutui keskeyttämään tuotannon Louisianassa.⁷⁹⁴ Samana vuonna Yhdysvaltojen suurin lannoitetuottaja Mosaic joutui keskeyttämään tuotannon suurimmassa kaliumkaivoksessaan Saskatchewanissa tulvariskin vuoksi, mikä vähensi yhtiön tuotantoa arviolta miljoonalla tonnilla ja johti maailmanlaajuisen tarjonnan laskuun 2–3 prosentilla. Mosaic joutui laajentamaan kaivosta korvatakseen suljettujen osien aiheuttamat tuotantotappiot ja kunnostamaan tulvineet osat, mikä aiheutti yhtiölle noin 105–125 miljoonan Yhdysvaltain dollarin kustannukset vuonna 2021.⁷⁹⁵ Hurrikaanien Helene ja Milton aiheuttama tulviminen

791 Niskanen 2022.

792 Järvenranta, Kapuinen ym. 2022.

793 Baker ym. 2024.

794 CF 2021.

795 UNEP 2024.

keski-Floridan fosfaattikaivoksilla ja lannoitetehtailla syksyllä 2024 johti tuotannon ja toimitusten keskeytymiseen kahdeksi viikoksi keskeyttäen myös maastaviennin.⁷⁹⁶ Hurrikaani Ida ja Teksasin kylmyysjakso vuonna 2021 mainitaan pandemian ja kohonneiden raaka-ainekustannusten ohella tuotantoa haitanneiksi tekijöiksi.⁷⁹⁷

Kalium ja fosfaatti ovat kaivannaisraaka-aineita, joiden tuotanto voi olla altista vesivaroihin liittyville riskeille, kuten veden niukkuudelle ja hydrologisille häiriöille riippuen tuotantoalueesta.⁷⁹⁸ Esimerkiksi Marokossa seitsemän prosenttia energiasta ja yksi prosentti vedestä menee fosfaattikiven louhintaan ja lannoitetuotantoon, jotka ovat energia- ja vesi-intensiivisiä prosesseja. Marokon fosfaattiteollisuus aiheuttaa myös suuria määriä myrkyllisiä päästöjä, kuten fluoridia, kadmiumia, ja uraania.⁷⁹⁹ Juuri vastaavissa kuivissa tuotantomaisissa, kuten Algeriassa ja Egyptissä, lannoiteraaka-aineiden prosessointi ja lannoitetuotanto lisäävät vedenottoa, mikä voi aiheuttaa paikallisia ongelmia.⁸⁰⁰ Esimerkiksi Egypti kärsii vuosittain noin seitsemän miljardin kuutiometrin vesivajeesta.⁸⁰¹ Lisäksi kalium on arvioitu 3174 kaivoksen sijaintia ja vesipulaa tarkastelleessa selvityksessä neljän haavoittuvimman materiaalin joukkoon – joskaan analyysi ei kattanut kaivosten tuotantomääriä vaan ainoastaan sijain- teja. Maantieteellinen keskittyminen tuotantomaiden sisällä voi myös altistaa häiriöille. Esimerkiksi kaikista kaliumia tuottavista kaivoksista maailmassa 36 prosenttia sijaitsee Nelsonjoen alueella Kanadassa.⁸⁰² Vesivaroihin liittyviä ongelmia on jo raportoitu vähemmän kuivilla alueilla: Saksassa kaksi kaliumkaivosta jouduttiin sulkemaan vedenpuutteen vuoksi kesällä 2018, mikä aiheutti lähes 2 miljoonan dollarin päivittäiset tappiot kummassakin toimipaikassa.⁸⁰³

Vastaavat yksittäisiin suuriin tuotantoalueisiin tai -laitoksiin kohdistuvat häiriöt voivat heijastua nopeasti maailmanmarkkina- hintoihin sekä lannoitteiden ja niiden raaka-aineiden saatavuuteen. Vaikutukset korostuvat erityisesti tilanteissa, joissa häiriöt ajoittuvat viljelykasvien kriittiseen kasvukauteen tai kytkeytyvät samanaikaisesti geopolitiisiin jännitteisiin, mikä voi entisestään kiristää tarjontaa ja lisätä markkinoiden volatiliteettia.

796 U.S. Geological Survey 2025.

797 Beghin & Nogueira 2021; Brownlie ym. 2023.

798 Esim. Morgan & Dobson 2020; UNEP 2024.

799 ECNR 2025.

800 Nedelciu ym. 2020.

801 UNICEF Egypt 2021.

802 Morgan & Dobson 2020.

803 Farmbrough 2022; Henderson & Maksimainen 2020.

3.5 Kestävyyssiirtymä lannoitteissa

Tällä hetkellä kaikkien lannoitteiden tuotanto on riippuvaista fossiilisista polttoaineista. Ne aiheuttavat päästöjä mineraalien louhinnassa, lannoitteiden valmistuksessa, raaka-aineiden ja välituotteiden kuljetuksessa eri tuotantoyksiköiden välillä sekä raaka-aineina lannoitteiden tai niiden esiasteiden valmistuksessa.⁸⁰⁴ Lannoitteet vaikuttavat olevan lähitulevaisuuden suurin kasvuala öljypohjaisten raaka-aineiden käytössä.⁸⁰⁵ Lannoitetuotanto edustaa niin sanottuja vaikeasti hillittäviä aloja, joiden poliittinen merkitys globaaleissa toimitusketjuissa kasvaa kestäväyssiirtymän myötä. Tällaisten välituoteteollisuudenalojen rakenteellinen muutos voi tarkoittaa suuriakin muutoksia globaalin talouden rakenteisiin ja niiden maantieteelliseen sijoittumiseen.⁸⁰⁶ Samanaikaisesti geopolittiset jännitteet ja konfliktit hankaloittavat ympäristöyhteistyön tekemistä esimerkiksi ravinnekuormituksen suhteen Itämerellä: esimerkiksi Venäjä ei haastateltavan mukaan enää aktiivisesti osallistu HELCOM-yhteistyöhön. Energiasiirtymän myötä myös biopolttoaineiden kasvava tuotanto voi tulevaisuudessa vaikuttaa lannoitteiden kysyntään ja hintoihin globaalisti. Maailman lannoitteiden kysynnästä noin 3,6 prosenttia menee biopolttoaineille.⁸⁰⁷ Kuten aikaisemmin on mainittu, myös energiasiirtymän myötä fosforihappoa käytetään enenevässä määrin katodimateriaalina LFP-akuissa. Lannoiteteollisuuden fosfaattitarpeeseen nähden kysyntä akkujen raaka-aineena on edelleen pientä, mutta korkealaatuisen fosforin tuotantoa sekä fosforin kierrätystä tulisi tehostaa, jotta vältettäisiin mahdollista kilpailua ruoantuotannon ja energiasiirtymän raaka-ainetarpeiden välillä.

Ravinteiden kierto (typpi, fosfori) voidaan hahmottaa biogeokemiallisen kierron planetaariseksi rajaksi, jonka turvarajan ihmistoiminta on ylittänyt. Suomi kuuluu karkeassa, globaalissa mittakaavassa niihin maihin, joissa turvallinen ravinteiden käytön raja on ylitetty. Fosforin ja typen turvallisten raja-arvojen ylittämällä on laajoja kielteisiä vaikutuksia vesi- ja maaekosysteemeihin, ihmisten terveyteen sekä maatalouden, kalastuksen ja matkailun kaltaisiin aloihin. Kun reaktiiviset typpiyhdisteet pääsevät ympäristöön, ne lisäävät aerosoli- ja pölypitoisuuksia, otsonikatoa ja ilmaston lämpenemistä. Ylimääräinen typpi ja fosfori johtavat vesistöjen rehevöitymiseen ja aiheuttavat

804 Ouikhalfan ym. 2022.

805 Drugmand ym. 2022.

806 Quitzow ym. 2025.

807 Spears ym. 2022.

kuolleita vyöhykkeitä makean veden ja merten ekosysteemeissä.⁸⁰⁸ Maailmanlaajuisesti tasapuolisempi typpilannoitteiden käyttö parantaisi ruokaturvaa niin, että sadot voitaisiin kaksinkertaistaa ruokaturvattomimmissa maissa: Nykyisen typen käytön optimaalinen jakaminen lisäisi globaalia viljantuotantoa 12 prosenttia. Lisäksi hillittäisiin ilmastomuutosta ja luontokatoa.⁸⁰⁹ Onneksi ruokajärjestelmät, mukaan lukien lannoitteiden käyttö, ruokailutottumukset ja talousjärjestelmät, voivat sopeutua muuttuviin olosuhteisiin, toisin kuin planeetan rajoja määrittävät biofysikaaliset lait, jotka ovat ehdottomia. Ihmistoiminta tulee siis asettaa planetaaristen rajojen puitteisiin.⁸¹⁰

3.5.1 Lannoitteiden ilmasto- ja ympäristövaikutuksia

Lannoitteiden valmistukseen ja käyttöön liittyy erilaisia ilmasto- ja ympäristövaikutuksia. **Typpilannoitteiden kohdalla valmistus, käyttö ja kuljetus aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä.** Typpilannoitteiden valmistus aiheuttaa metaani- ja hiilidioksidipäästöjä. Maailmassa tuotetaan tällä hetkellä vuosittain 175 miljoonaa tonnia ammoniakkia, pääasiassa lannoitteiden raaka-aineeksi. Tuotanto tapahtuu energia-intensiivisellä, vuosisataisella teollisella Haber-Bosch-prosessilla tehden lannoiteteollisuudesta yhden maailman saastuttavimmista teollisuudenaloista. Typpilannoitteiden ja erityisesti lannan kaltaisten orgaanisten lannoitteiden käytöstä vapautuu pelloilta mikrobitoiminnan vuoksi kaksi kolmasosaa maailmanlaajuisista typpioksiduulipäästöistä. Ihmisten aiheuttamat typpioksiduuli- eli dityppioksidi (N_2O)-päästöt ovat lisääntyneet 30 prosenttia viimeisten neljän vuosikymmenen aikana. Typpioksiduuli on pitkäikäinen kasvihuonekaasu, joka on lähes 300 kertaa voimakkaampi kuin hiilidioksidi 100 vuoden ajanjaksolla. Se on kolmanneksi suurin ilmastomuutoksen aiheuttaja hiilidioksidin ja metaanin jälkeen. Lisäksi se ohentaa otsonikerrosta. Globaalin keskiarvon mukaan lannan elinkaaripäästöt ovat typpikiloa kohden 1,9-kertaiset synteettisiin lannoitteisiin verrattuna, eivätkä laskelmat sisällä eläinten ruoansulatuksesta syntyviä metaanipäästöjä, joten synteettisten lannoitteiden korvaaminen lannalla on päästöjen näkökulmasta ongelmallista.⁸¹¹

808 PBSscience 2025; myös de Vries ym. 2021; Steffen ym. 2015; Rockström ym. 2025.

809 Helsingin yliopisto 2024; Kahiluoto ym. 2024.

810 Herzon ym. 2024.

811 Drugmand ym. 2022; Dunne 2020; Gao & Cabrera Serrenho 2023; Heimsoth 2023; Jones 2022; Menegat ym. 2022; Semberg & Manninen 2025; Tian ym. 2020; Zhou ym. 2019.

Kokonaisuudessaan synteettisten typpilannoitteiden toimitusketju aiheutti 10,6 prosenttia maatalouden päästöistä ja 2,1 prosenttia maailmanlaajuisista kasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2018. Suurin osa, eli 58,6 prosenttia näistä päästöistä liittyi peltoihin eli lannoitteiden käyttöön, kun taas tuotannosta aiheutui 38,8 prosenttia ja kuljetuksesta 2,6 prosenttia päästöistä. Eniten lannoitteisiin liittyviä päästöjä maailmassa aiheuttivat Kiina, Intia, Yhdysvallat ja Eurooppa, jotka yhdessä vastasivat 62 prosentista lannoitteisiin liittyvistä kokonaispäästöistä.⁸¹²

Eri valmistajien typpilannoitetuotteilla on kuitenkin erilainen hiilijalanjälki. Muutamien haastateltavien ja lannoitevalmistaja Yaran mukaan Suomessa ja muissa länsimaissa tuotettavien lannoitteiden päästöt ovat merkittävästi pienemmät verrattuna esimerkiksi kiinalaisiin tai venäläisiin tuotteisiin, sillä käytössä oleva katalyyttiteknologia pienentää valmistuksessa syntyviä typpioksiduulipäästöjä.⁸¹³ Lannoitteisiin on kehitetty myös inhibiittoreita, jotka vähentävät niiden typpioksiduulipäästöjä pellolta, mutta ne eivät ole vielä laajasti käytössä teollisissa lannoitteissa. Typen käytön tehostamisen on todettu olevan tehokas strategia typpilannoitteiden (sis. lanta) elinkaaren päästöjen vähentämiseksi. Kirjallisuuden mukaan tehostaminen tulisi kuitenkin yhdistää lannoitteiden tuotannon hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Jo nykyisin käytettävissä olevilla tekniikoilla typpilannoitteiden kasvihuonekaasupäästöjä voitaisiin vähentää viidennekseen nykyisestä tasosta vuoteen 2050 mennessä.⁸¹⁴ Vielä tärkeämpää olisi kuitenkin ohjata ruoantuotantoa kasvispainotteisemmaksi ja vähentää näin lannoitteiden tarvetta kokonaisuudessaan.

Fosfori- ja kaliumlannoitteiden tuotannossa alalla käytetään yleisesti vakiintuneita tekniikoita, jotka perustuvat raakamalmiin louhintaan ja sen käsittelyyn energiantensiivisten kemiallisten tai fysikaalisten prosessien avulla. Nämä tekniikat perustuvat perinteisten fossiilisten polttoaineiden, kuten dieselin, propaanin, polttoöljyn ja maakaasun polttamiseen sekä sähkön käyttöön. Fosforilannoitteiden tuotannossa tarvitaan myös esimerkiksi ammoniakkia.⁸¹⁵ Fosfaatin louhinnan ja jalostuksen ilmastovaikutukset kaksinkertaisuvat vuosien 2000 ja 2050 välillä. Fosfaattikiven louhinta ja jalostus aiheuttavat lähes kaikki fosforin toimitusketjun kielteiset vaikutukset ilmastoon ja ilmanlaatuun. Lisäksi kaikkien fosforilannoitteiden

812 Menegat ym. 2022; myös Quitzow ym. 2025.

813 Lehtonen 2020.

814 Gao & Cabrera Serrenho 2023; IFA 2022.

815 Ouikhalfan ym. 2022.

perustana olevan fosforihapon tuotannossa syntyy jätteenä suuria määriä raskasmetalleja ja radioaktiivisia alkuaineita sisältävää kaliumsulfaattihydraattia eli kipsiä.⁸¹⁶ Siilinjärveltä, lannoiteyritys Yaran tehtailta peräisin oleva kipsi ei sisällä yhtiön mukaan kadmiumia eikä muita raskasmetalleja, eikä siinä ole myöskään radioaktiivisuutta. Kipsiä onkin pienessä mittakaavassa käytetty maanparannusaineena.⁸¹⁷ Sitä ei kuitenkaan sulfaatin takia suositella järvien valuma- tai pohjavesialueilla eikä Natura 2000 -alueilla.⁸¹⁸

Ouikhalfan ym. ehdottavat, että hiilineutraali fosfaatti- ja kaliumteollisuus voitaisiin saavuttaa ottamalla käyttöön energia- tehokkaita teknologioita ja toteuttamalla tehokkaita hiilidioksidin talteenottojärjestelmiä. Epäsuoria energiapäästöjä tulisi vähentää esimerkiksi lisäämällä uusiutuvan energian käyttöä ja vähentämällä polttoaineen kulutusta.⁸¹⁹

Ravinteiden pääsy vesistöihin aiheuttaa **rehevoitymistä**. Rehevoityminen vaivaa monia Suomen rannikkovesiä, jokia sekä pieniä ja matalia järviä, ja se on yleisin syy vesien heikkoon ekologiseen tilaan. Ilmiön taustalla on erityisesti valuma-alueilta tuleva typpi ja fosfori. Kolme neljäsosaa fosforikuormasta ja kaksi kolmasosaa typpikuormasta johtuu ihmisen toiminnasta.⁸²⁰ Globaalisti järvien ja tekoaltaiden rehevoitymisen päästöt vastaavat noin viidennestä fossiilisten polttoaineiden maailmanlaajuisista hiilidioksidipäästöistä, ja järvien metaanipäästöjen ennustetaan kasvavan 30–90 prosenttia seuraavan vuosisadan aikana ilmastonmuutoksen ja väestönkasvun seurauksena.⁸²¹

Suomen vesien tilaa laaja-alaisimmin heikentävä tekijä on niemenomaan maa- ja metsätalouden hajakuormitus – näistä maatalous aiheuttaa valtakunnallisesti noin kolme neljäsosaa typen ja fosforin hajakuormituksesta. Hajakuormitus tarkoittaa sitä, että päästölähteitä on runsaasti ja ne sijaitsevat hajallaan ympäri valuma- aluetta. Maatalouden ravinnevalumat johtuvat peltojen lannoituksesta ja niiden muokkauksesta, eroosiosta sekä kotieläinten lannan käsittelystä. Metsätalous puolestaan aiheuttaa noin 17 prosenttia vesistöjen fosforikuormituksesta ja 11 prosenttia typpikuormituksesta. Metsätalouden vesistökuormitus johtuu metsien lannoituksesta, metsäojituksista

816 Nedelciu ym. 2020.

817 Luomanperä 2019.

818 Tampio ym. 2026.

819 Ouikhalfan ym. 2022.

820 Syke 2022; 2025a.

821 Beaulieu ym. 2019; DelSontro ym. 2018.

etenkin turvemaiden ja metsämaaperän käsittelystä.⁸²² Sisävesien ekologinen tila on keskimäärin kuitenkin hyvä. Parhaiten voivat suuret järvet ja huonoiten joet. Sisävesien tila ei ole viime vuosina parantunut.⁸²³ Ravinnekuorma vähentää voimakkaasti esimerkiksi virtavesien eliömonimuotoisuutta.⁸²⁴

Rannikkovesien ekologinen tila on sisävesiä heikompi.⁸²⁵ 2000-luvulla ravinnekuormitus Itämereen on pienentynyt, mutta fosforipitoisuus on edelleen kohonnut ja happitilanne heikentynyt erityisesti Suomen eteläisillä merialueilla. Itämeren pääaltaalta kuluu fosforia Suomen merialueille. Entistä suurempi alue Itämeren pohjaa on altistunut hapenpuutteelle, ja fosforin vapautuminen merenpohjasta on lisääntynyt. Yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesien aiheuttamaa kuormitusta on saatu pienennettyä, mutta **maa- ja metsätalouden aiheuttamaa fosfori- ja typpikuormitusta ei ole vähennetty yhdelläkään Suomen merialueista**. Suomen rannikkovedet ovat rehevöitymisen suhteen heikossa tilassa.⁸²⁶ Suomen jokien tuomat ravinnemäärät muodostavat kymmenesosan Itämeren koko ravinnekuormituksesta.⁸²⁷ Rehevöityminen on Itämeren rannikkoluonnon merkittävin uhanalaistumisen aiheuttaja.⁸²⁸ Eräs haastateltava nosti esiin myös sen, että ilmastonmuutos tulee sadannan lisääntyessä pahentamaan fosforivalumia vesistöihin.

Raskasmetallit ovat luonnostaan osa maankamaraa, mutta niiden pitoisuudet voivat paikallisesti kasvaa ihmisen toiminnan, kuten kaivosteollisuuden, kemianteollisuuden sekä lannoitteiden ja polttoaineiden käytön seurauksena. Raskasmetalleilla on negatiivisia terveys- ja ympäristövaikutuksia.⁸²⁹ Kadmiumille on kansallisessa ja eurooppalaisessa lainsäädännössä asetettu enimmäispitoisuus fosforilannoitteissa.⁸³⁰

Maaperän tilan huonontuminen on vakava ja alati paheneva ongelma Euroopassa, sillä maanosan maaperästä noin 60 prosenttia on huonontunut.⁸³¹ Lannoitteiden käyttö muuttaa maaperän fyysikaalis-kemiallisia ja biologisia ominaisuuksia. Niiden liikakäyttö voi

822 Syke 2022; 2025a.

823 Syke 2025a; 2025b.

824 Rytteri ym. 2024.

825 Syke 2022.

826 Syke 2025c.

827 Syke 2025a.

828 Rytteri ym. 2024.

829 Ks. Aakkula ym. 2019.

830 Ks. Ruokavirasto 2025a.

831 Akca ym. 2024.

tuhota maaperän mikrobiyhteisöjä ja heikentää maaperän terveyttä, etenkin yhdistettynä maata tiivistäviin ja rakennetta rikkoviin viljelymenetelmiin. Maaperän biologinen monimuotoisuus kärsii pitkäaikaisesti, ja maaperän orgaanisen aineksen pitoisuus vähenee. Peltojen lannoittaminen teollisesti tuotetuilla mineraalilannoitteilla voi lisäksi olla vahingollista kasvien ja lintujen monimuotoisuudelle.⁸³²

Maan kasvukuntoa on mahdollista parantaa samalla kun maatalouden ympäristövaikutuksia pienennetään. Esimerkiksi Luken tuoreen katsauksen mukaan muun muassa maanmuokkauksen vähentämisellä, maanparannusaineiden käytöllä, turvemaiden vesienhallinnalla ja viljelykasvivalikoiman monipuolistamisella voidaan parantaa maan kasvukuntoa sekä vähentää ympäristön ja ilmaston kuormitusta.⁸³³ Maatalousalueiden maaperäeliöstön monimuotoisuutta lisäävät toimet, kuten luomutuotannon lisääminen ja sen toimenpiteiden laajempi käyttöönotto, parantaisivat maan kasvukuntoa ja **hillitsivät ravinnehuuhtoutumia**, mikä vähentäisi teollisesti tuotettujen mineraalilannoitteiden tarvetta.⁸³⁴ Orgaanisilla kierrätyslannoitevalmisteilla (esim. viherlannoite, karjalanta, liete, mädäte) voitaisiin saavuttaa hieman väkilannoitteita pienemmät peltomaan N₂O-päästöt, mutta vain jos niitä käytetään ilman mineraalityypilannoitteita (yhteiskäytössä niiden päästöt kasvavat 15 prosenttia mineraalityypilannoitteisiin verrattuna). Sen sijaan kompostin ja biohiilen käyttö ovat tehokkaampia keinoja päästöjen vähentämiseen. Osa kierrätyslannoitteiden fosforista ja typestä vapautuu väkilannoitteisiin verrattuna hitaammin kasvien käyttöön, jolloin niiden satovaikutukset jäävät myös erilaisiksi.⁸³⁵

Monet haastateltavat puhuivat **uudistavan viljelyn mahdollisuuksista** ravinteiden kierron suhteen. Samalla uudistava viljely kohottaisi maaperän kuntoa ja ympäristön monimuotoisuutta ja mahdollistaisi myös maaperän hiilivaraston kasvattamisen. Uudistavalla viljelyllä tarkoitetaan siis kokonaisvaltaista, ekosysteemiä elvyttävää lähestymistapaa ruoantuotantoon.⁸³⁶ Uudistavassa viljelyssä hyödynnetään pitkälti luomutilojen menetelmiä, eli monipuolisia viljelykiertoja, orgaanisten lannoitteiden ravinteiden kierrätystä ja palkokasvien typensidontaa. Monet luomutuotannosta tutut menetelmät auttaisivat

832 Dixon ym. 2022; Iivonen ym. 2023; Keskitalo ym. 2022; Paharvi ym. 2021; Quiroz 2025; Rytteri ym. 2024; Viglione 2022.

833 Leppälä ym. 2026.

834 Rytteri ym. 2024.

835 Ks. lisää esim. Lex4Bio-hanke; Valkama ym. 2026.

836 Esim. Hagelberg ym. 2020; Reese 2025.

siis lisäämään tavanomaisenkin tuotannon kestävyyttä, kannattavuutta ja omavaraisuutta suhteessa ulkoisiin tuotantopanoksiin. Luomutuotanto monipuolistaa tutkitusti maaperän eliöstöä, parantaa maan kasvukuntoa ja vähentää ravinnevalumia vesistöihin etenkin viljantuotannossa. Esimerkiksi typpekuormitus on luomuviljapelloilla 20 prosenttia tavanomaista, yksipuolista viljelykiertoa alhaisempaa.⁸³⁷

3.5.2 Vihreä vety

Yksi keino tuottaa typpilannoitteita ilman kasvihuonekaasupäästöjä perustuu vihreään vetyyn. Nykyisin vetyä hyödynnetään laajasti teollisuudessa, ja sen käytön on oletettu kasvavan. Muiden teollisten käyttökohteiden ohella vetyä käytetään lannoitteiden valmistukseen, sillä sitä tarvitaan ammoniakin tuotantoon. Vetyä tuotetaan nykyisin lähes täysin fossiilisista polttoaineista kaasutuksen avulla, ja menetelmä aiheuttaa huomattavia ilmastopäästöjä. Vaihtoehtoisesti vetyä voidaan valmistaa myös biomassoista.⁸³⁸ Kapuinen ym.⁸³⁹ suosittelevatkin biokaasutuotannon kasvattamista ja sen jalostamista biometaaniksi, jota voitaisiin käyttää ammoniakin valmistuksessa.

Vetyä voitaisiin tuottaa sähköllä vedestä elektrolyysin avulla. Teknologia tähän on olemassa, mutta infrastruktuuria ei ole vielä laajassa mittakaavassa rakennettu.⁸⁴⁰ Vihreästä vedystä puhutaan, kun elektrolyysin tarvitsema sähkö on vähäpäästöistä. Sinisen vedyn tuotanto puolestaan perustuu maakaasuun ja hiilen talteenottoon. CC-tekniologiat (*carbon capture*) eivät kuitenkaan estä prosessin kaikkia päästöjä, ja ongelmana on lisäksi maakaasun tuotantoon ja kuljetukseen liittyvät metaanipäästöt.⁸⁴¹ Vedyllä on myös itsessään fyysisiä ominaisuuksia, kuten alhainen energiatiheys (tilavuuteen suhteutettuna), syttyvyys ja taipumus haurastuttaa metalleja, jotka asettavat haasteita sen kustannusten, turvallisuuden ja hyväksyttävyyden suhteen.⁸⁴²

Jo ainakin 65 valtiolla on kuitenkin **kansallinen vetystrategia**, joissa ne sitoutuvat luomaan kansallisia ja kansainvälisiä vedyn toimitusketjuja.⁸⁴³ Monet suunnittelevat vedyn tuotannon lisäämistä ja käyttökohteiden laajentamista, ja muun muassa Suomesta on

837 Iivonen & Karikallio n.d.; Iivonen ym. 2023.

838 BIOS 2023.

839 Kapuinen ym. 2022.

840 Kapuinen ym. 2022.

841 BIOS 2023; Evans & Gabbatiss 2020.

842 Johnson ym. 2025; myös Evans & Gabbatiss 2020.

843 Johnson ym. 2025.

kaavailtu vetytalouden edelläkävijää.⁸⁴⁴ Suomen ensimmäinen kaupallinen vihreän vedyn tuotantolaitos aloitti toimintansa Harjavallassa alkuvuodesta 2025.⁸⁴⁵ Vetytalouden edistäminen ei automaattisesti edistä energiasiirtymää, jos esimerkiksi vedyn vaatima infrastruktuuri tukee samalla maakaasun elinkaaren pidentämistä, kuten sinisen vedyn tapauksessa. Myöskin ylijäämäsiirtoon perustuva vedyn tuotanto voi olla kannattamatonta ja vaatia paljon tukea, sillä sähköverkon parempi yhdentyminen, joustot ja esimerkiksi sähköautojen akut voivat vähentää tulevaisuudessa ylijäämäsiirtoa, ja pitkällä aikavälillä ylijäämäsiirtoa voidaan suunnata myös teknologiseen hiilen talteenottoon. Jos taas päästöttömän sähkön tuotantoa kasvatetaan varta vasten vetytalouden vuoksi, kilpailee se muun yhteiskunnan sähköntarpeiden kanssa.⁸⁴⁶

Erään arvion mukaan Suomen typpilannoitetarpeisiin (noin 150 miljoonaan kilogrammaan) tarvittaisiin noin 245 megawatin elektrolyysilaitos ja ammoniakkitehdas.⁸⁴⁷ Luken selvityksessä arvellaan, että uuden teknologian ammoniakkin tuotannolla Suomessa parannettaisiin huoltovarmuutta ja että ammoniakkin valmistus olisi erinomainen tapa säilöä volatiileilla tuotantotavoilla tuotettua energiaa, jolloin se voisi myös säästövoiman tapaan vakauttaa energiajärjestelmää.⁸⁴⁸ Vihreän vedyn teknologioiden laajentaminen voisi tarjota merkittävän kilpailuedun maille, joilla on suuri aurinko- tai tuulienergiapotentiaali.⁸⁴⁹ Vihreän vedyn hinnan on ennakoitu laskevan vuosikymmenen loppuun mennessä jopa maakaasusta tuotettavan harmaan vedyn hintaa alhaisemmaksi erilaisten kannustimien ja sääntelyn sekä mitataakaavaetujen vuoksi ja uusiutuvan energian tuotantokapasiteetin kasvaessa.⁸⁵⁰ Toiset arviot näkevät, että vedyn hinta ei tule laskemaan, kuten kävi esimerkiksi akkujen ja aurinkokennojen suhteen. Tukia tarvitaan, jotta vihreä vety olisi kustannuksiltaan kilpailukykyinen lähitulevaisuudessa.⁸⁵¹

Vedyn käyttöä ei tulisi kritiikittä pyrkiä edistämään kaikilla sektoreilla, vaan sen **käyttöä tulisi kohdentaa sinne, missä hyöty on suurin ja vaihtoehtoja vedylle on huonosti**. Kaikkialle vetyä ei päästövähennysten vaatimassa aikataulussa riittä. Esimerkiksi nykyisin

844 Esim. Hydrogen Cluster Finland 2023.

845 P2X Solutions 2025.

846 BIOS 2023.

847 Kapuinen ym. 2022.

848 Järvenranta, Kapuinen ym. 2022.

849 Quitzow ym. 2025.

850 BloombergNEF 2023.

851 Johnson ym. 2025.

neljännes vedystä käytetään terästuotannossa, ja pelkästään terästuotannon siirtyminen päästöttömyyteen vaatisi vedyn käytön 15-kertaistamista. Esimerkiksi henkilöajoneuvoliikenteessä vetyä ei tulisi käyttää, kun saatavilla on muita, tehokkaampia keinoja päästöttömyyteen, kuten ajoneuvojen sähköistäminen ja julkisen ja kevyen liikenteen tukeminen.⁸⁵² Akkujen avulla toimivat sähköajoneuvot ovat 3–8 kertaa tehokkaampia kuin vety- ja polttokennoajoneuvot. Tuoreen katsauksen mukaan vihreän vedyn ensisijaiset käyttökohteet ovatkin käytännössä sen nykyisissä sovelluksissa eli lannoitteiden ja petrokemian aloilla ja siellä, missä vaihtoehdot päästöttömyyteen ovat kalliita, kuten teräksen valmistuksessa, raskaassa liikenteessä ja pitkäaikaisessa energian varastoinnissa.⁸⁵³

Tämän tutkimuksen haastateltavat näkivät **suomalaisen vety- ja ammoniakkituotannon** merkittävänä keinona kasvattaa omavaraisuutta typpilannoitteissa. Kuitenkin maataloussektorin maksukyvyttömyys heikkous saattaisi ohjata saatavilla olevaa vetyä muille aloille, kuten terästeollisuuteen.

Vedyn tuotanto on lisäksi **vesi-intensiivistä**, mikä rajoittaa tuotannon sijoittumista niille alueille, jossa vedyn tuotantokustannukset olisivat aurinkoenergian vuoksi edullisimmat. Vesi-intensiivinen vedyn tuotanto voi myös kilpailla vedestä muiden sektoreiden, kuten ruoantuotannon ja teollisuuden kanssa.⁸⁵⁴ Myös **raaka-aineiden saatavuus** muodostaa – ilman vetytaloutta – merkittävän pullonkaulan globaalille energiasiirtymälle.⁸⁵⁵ Vetyteknologiat tarvitsevat katalyytteja, jotka sisältävät kriittisiä mineraaleja (kuten nikkeliä), harvinaisia maametalkeja (yttriumia, gadoliniumia, lantania, skandiumia ja ceriumia) ja jalometalleja (platinaa, palladiumia, iridiumia ja ruteniumia). Katalyyttien määrät vaihtelevat suuresti eri teknologioiden välillä, ja määrän oletetaan vähenevän teknologian kehittyessä. Erityisesti dysprosium ja iridium voivat muodostua pullonkauloiksi vedyn tuotannon lisäämisessä, sillä niiden tarve kaksin- tai kolminkertaistuisi joissain kunnianhimoisissa ilmastoskenaarioissa. Vaikuttaa siltä, että puhtaan energian eri teknologiat sekä muut sovellukset kilpailevat samoista raaka-aineista.⁸⁵⁶ Tällä hetkellä noin

852 BIOS 2023; myös Evans & Gabbatiss 2020.

853 Johnson ym. 2025.

854 Johnson ym. 2025.

855 Ks. Energiasiirtymän kriittiset raaka-aineet -tapaustutkimus.

856 Johnson ym. 2025; ks. Energiasiirtymän kriittiset raaka-aineet tapaustutkimus.

60 prosenttia maailman vihreän vedyn tuottamiseen tarvittavasta elektrolyysilaitteiden tuotantokapasiteetista sijaitsee Kiinassa.⁸⁵⁷

3.5.3 Hiilirajamekanismi ja päästökauppa

EU:n sisällä lannoitteiden tuotanto on **päästökaupan** piirissä.

Lannoiteteollisuus on määritelty hiilivuotoriskille altistuneeksi teollisuudenalaksi, joka on oikeutettu saamaan ilmaisia hiilidioksidipäästöoikeuksia enintään vertailuarvoon asti, joka perustuu alan laitosten parhaimman 10 prosentin keskimääräisiin päästöihin. Samalla kun päästökaupan ilmaiset päästöoikeudet poistetaan käytöstä, alla kuvattu hiilirajamekanismi eli CBAM-järjestelmä otetaan aseittain käyttöön vuosina 2026–2034.⁸⁵⁸ Lannoiteteollisuuden eurooppalainen etujärjestö on harmitellut, että ilmaiset päästöoikeudet kattavat vain osan lannoiteteollisuuden valtavista päästökauppajärjestelmän kustannuksista ja että päästöoikeuksien hinnan ennustettu räjähdysmäinen nousu yhdessä järjestelmän tiukentuvien tavoitteiden kanssa tekee eurooppalaiselle teollisuudelle erittäin vaikeaksi säilyttää kilpailukykyänsä maailmanmarkkinoilla. EU:n lannoiteteollisuus on sen mukaan onnistunut vähentämään kasvihuonekaasujaan niin, että EU:n lannoitteilla on maailman alhaisin hiilijalanjälki.⁸⁵⁹

Hiilirajamekanismin (*Carbon Border Adjustment Mechanism*, CBAM) tarkoitus on estää hiilivuotoa, jossa tuotanto siirtyy maihin, joissa ympäristösääntely on löyhempää. Se asettaa tuontituotteille hinnan, joka vastaa EU:ssa tuotettujen tavaroiden hiilidioksidipäästöjen hinnoittelua päästökauppajärjestelmän piirissä. CBAM kohdistuu päästöintensiivisiin sektoreihin, kuten **lannoitteisiin** (pääosin typpi- lannoitteisiin), sementtiin, rauta- ja terästuotteisiin, sähköön, alumiiniin ja kemikaaleihin, ja huomioi sekä suorat että epäsuorat sisäiset päästöt. Yritysten on raportoitava tuontituotteiden päästöt ja hankittava CBAM-sertifikaatit, joilla nämä hiilidioksidipäästöt hyvitetään, mikä vaatii toimitusketjun tuntemusta, sisäisiä laskentajärjestelmiä ja varmennusprosesseja. Sertifikaatit on otettu käyttöön 1.1.2026 alkaen, ja siirtymävaiheessa (alkaen 1.10.2023) yrityksillä oli tiedonantovelvollisuus. Rikkomuksista seuraa sakkoja, ja mekanismi yhdistää tulliperusteisen sääntelyn sekä toimitusketjun läpinäkyvyyden vaatimukset tasoittaen näin kilpailua EU:n ja tuontimaiden

857 Patel & Teo 2026.

858 European Commission 2025g.

859 Fertilizers Europe 2023b.

välillä.⁸⁶⁰ Haastateltavan mukaan CBAM ei koske tuontiraaka-aineista valmistettuja, EU:n ulkopuolelle vietäviä lannoitteita.

Vuosien 2025 ja 2026 vaihteessa komissio kuitenkin esitti **useita lievennyksiä lannoitteisiin kohdistuviin toimiin** – osittain pyrkiessään varmistamaan EU-jäsenmaiden tuen Mercosur-sopimukselle.⁸⁶¹ Esi-merkiksi joulukuussa 2025 CBAM:n laskentasääntöihin tehtiin vain lannoitteita koskeva poikkeus, mikä käytännössä heikentää erityisesti saastuttavien ulkomaisten lannoitetuottajien kannustimia raportoida todellisia päästöjään.⁸⁶² Tammikuussa vuonna 2026 Ranska ja Italia pyrkivät lykkäämään tai keskeyttämään hiilirajamekanismin soveltamista lannoitteisiin vedoten maanviljelijöiden taloudelliseen ahdinkoon,⁸⁶³ johon komissio vastasi ehdottamalla muun muassa uutta artiklaa, joka antaisi komissiolle valtuudet poistaa tuotteita CBAM:n soveltamisalasta, jos niiden sisällyttäminen aiheuttaa vakavaa haittaa EU:n sisämarkkinoille kohoavien hintojen vuoksi.⁸⁶⁴ Komissio on helmikuussa 2026 ehdottanut, että useiden keskeisten tyyppilannoitteiden ja niiden tuotantoon tarvittavien raaka-aineiden (ammoniakki, urea) tuonnista perittävät tullit keskeytettäisiin vuodeksi, lukuun ottamatta Venäjää ja Valko-Venäjää, tullittomien tariffikiintiöiden avulla.⁸⁶⁵ Euroopan lannoiteteollisuuden etujärjestö on kritisoinut CBAM:n vesittämistä.⁸⁶⁶ Lisääntyneeseen geopoliittiseen kriisiytymiseen vedoten Fertilizers Europe ehdotti huhtikuussa 2026, että päästökaupan ilmaisia oikeuksia ei leikattaisi lannoiteteollisuudelta ennen vuotta 2030.⁸⁶⁷

3.6 Lannoitteiden sääntely ja hallinta

Suomessa lannoitteiden sääntely perustuu muun muassa **lannoitelakiin**,⁸⁶⁸ joka ohjaa niiden valmistusta, markkinointia, käyttöä ja valvontaa sekä yhdenmukaistaa kansalliset säännöt EU-lainsäädännön

860 Cambou ym. 2025; Carbon Trust 2024; Tulli 2026.

861 European Commission 2026d; Hartikainen 2026.

862 European Commission 2026d; Fertilizers Europe 2025.

863 Abnett & Blenkinsop 2026.

864 Gupte & Warner 2026.

865 European Commission 2026d.

866 Fertilizers Europe 2025.

867 Fertilizers Europe 2026.

868 Lannoitelaki 711/2022.

kanssa. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksilla⁸⁶⁹ tarkennetaan muun muassa tuoteluokkien ja ainesosien laatuvaatimuksia, käyttö- ja merkintäsääntöjä, toiminnan harjoittamisen menettelyjä sekä erityisiä teknisiä vaatimuksia. Fosforin käyttöä rajoittaa Suomessa ennen kaikkea valtioneuvoston asetus, joka asettaa viljelykohtaiset enimmäismäärät.⁸⁷⁰ Typen käyttöä säädellään **EU:n nitraattidirektiivin kansallisen toimeenpanon** kautta,⁸⁷¹ mikä rajoittaa erityisesti eläinperäisen typen käyttöä (enintään 170 kg/ha vuodessa) ja asettaa tarkempia ehtoja levitykselle eri kasveille ja erilaisissa olosuhteissa. Lisäksi sääntelyyn liittyy niin sanottu **lantapoikkeus**, joka sallii tietyissä tilanteissa muita fosforilannoitteita suuremman fosforimäärän levittämisen peltoon kotieläinten lantana. Lisäfosfori ei välttämättä paranna satoa, ja hiljattain tehdyssä selvityksessä todetaan, että poikkeuksesta luopuminen olisi kustannustehokas keino vähentää ravinnekuormitusta.⁸⁷²

Suomessa lannoitelainsäädännön osalta toimivaltainen viranomaisena on Ruokavirasto. Lannoitevalmisteet Suomessa saavat sisältää vain kansallisen tai EU:n lannoitevalmisteasetuksen mukaisia ainesosia, ja Ruokavirasto päättää niiden sisällyttämisestä kansalliseen ainesosaluetteloon. Suomen erityisen happamien maaperien ja vesistöjen vuoksi lannoitteiden laatuun ja turvallisuuteen, kuten alhaisiin raskasmetallipitoisuuksiin ja hygieenisyyteen, kiinnitetään erityistä huomiota. Lannoitevalmisteisiin kuuluvat lannoitteet, kalkitusaineet, maanparannusaineet, kasvualustat ja biostimulantit. Ne on tuotettava kansallisen tai EU-lainsäädännön vaatimusten mukaisesti, ja myös muiden EU-/ETA-maiden laillisesti valmistetut tuotteet voidaan tuoda markkinoille vastavuoroisen tunnustamisen periaatteella ennakkoluovan kautta.⁸⁷³

EU:n lannoitevalmisteasetus säätelee lannoitevalmisteiden markkinoille saattamista ja yhtenäistää vaatimuksia koko unionissa. Sitä täydentävät muun muassa komission asetukset, joissa on tarkennettu sivutuotteiden käyttöä ja käsitellyn lannan hyväksymistä ainesosaksi.

869 Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 964/2023; Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista koskevasta toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta 965/2023; Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta 357/2025.

870 Ruokavirasto 2026; Valtioneuvoston asetus fosforia sisältävien lannoitevalmisteiden ja lannan käytöstä 64/2023.

871 Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta 1250/2014.

872 Luostarinen ym. 2026.

873 Maa- ja metsätalousministeriö 2025.

Lisäksi sivutuoteasetus (1069/2009) ja sen toimeenpanoasetus (142/2011) määrittävät eläimistä saatavien sivutuotteiden käsittelyä, kuljetusta ja jäljitettävyyttä eläintautien leviämisen ehkäisemiseksi. Suomessa on myös **kansallinen poikkeuslupa** rajoittaa lannoitteiden kadmiumpitoisuutta komission päätöksen 2006/348/EY mukaisesti. Lannoitevalmisteisiin sovelletaan myös **tuotelainsäädäntöä**, joka kattaa markkinavalvonnan ja tuotteiden vaatimustenmukaisuuden. EU-tasolla asiaa säätelevät asetukset käsittelevät esimerkiksi tuotteiden vaatimustenmukaisuutta, akkreditointia ja vastavuoroista tunnustamista.⁸⁷⁴ EU-tasolla myös **REACH-asetus** (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals* eli kemikaalien rekisteröinti, arviointi, lupamenettelyt ja rajoitukset) säätelee lannoitteiden valmistusta ja maahantuontia niin, että yritysten on hallittava riskejä, joita liittyy niiden valmistamiin tai markkinoimiin aineisiin.⁸⁷⁵

EU:n nitraattidirektiivin ja vesipuitedirektiivin tavoitteena on rajoittaa ravinteiden päästöjä maatalousmaiden asianmukaisella hoidolla. Lisäksi esimerkiksi Natura 2000 -verkostoon, lintudirektiiviin ja luontodirektiiviin sisältyy toimenpiteitä torjunta-aineiden ja lannoitteiden käytön vähentämiseksi, jotta biologinen monimuotoisuus voidaan varmistaa luonnontyyppien suojelun avulla EU:ssa.⁸⁷⁶ Itämeren suojeluun liittyvä **Helsingin sopimus** velvoittaa Itämeren valtiot vähentämään kuormitusta, suojelemaan meriluontoa ja turvaamaan biodiversiteettiä parhaiden käytäntöjen ja varovaisuusperiaatteen mukaisesti, ja sen toimeenpanoa seuraa sekä edistää Itämeren suojelukomissio (Helsinki Commission, HELCOM), eli suojelusopimuksen allekirjoittajavaltioiden perustama hallitusten välinen järjestö.⁸⁷⁷

EU:ssa viljelijöitä tuetaan taloudellisesti lannoitteiden käytön optimoimiseksi osana **yhteistä maatalouspolitiikkaa (YMP)**. Suunnitelmana on, että vuoteen 2027 mennessä lähes 98 miljardia euroa kohdennetaan ilmaston, veden, maaperän, ilman, biologisen monimuotoisuuden ja eläinten hyvinvoinnin edistämiseen. Tavoitteena on tukea kestäviä viljelymenetelmiä, kuten orgaanista lannoitusta, laaja-alaista nurmiviljelyä, palkokasvien ja väliviljelykasvien viljelyä sekä metsäviljelyä noin 35 prosentilla EU:n maatalousalasta. Viljelykiertoa tavoitellaan myös noin 85 prosentilla YMP:n tukemasta viljelymaasta.⁸⁷⁸

874 Ruokavirasto 2024; 2026.

875 Aakkula ym. 2019.

876 Oger 2022.

877 Lemola ym. 2023; YM n.d.

878 Directorate-General for Agriculture and Rural Development 2023.

EU:ssa maatalouden ympäristöohjelmat ovat kehittyneet vaativamiksi, ja ne ovat laskeneet korkeimman sallitun fosforilannoituksen rajoja. Lisäksi muun muassa EU:n **Pelloilta pöytään -strategia** ja **Bio-diversiteettistrategia** tavoittelevat ravinnehävikin puolittamista ja lannoitteiden käytön vähentämistä viidenneksellä vuoteen 2030 mennessä.⁸⁷⁹ Lisäksi on muuta EU-tason sääntelyä ja toimintasuunnitelmia, jotka ohjaavat ravinteiden käyttöä ja pyrkivät vähentämään niiden ympäristöhaittoja, kuten **kierotalouden toimintasuunnitelma, jätevesidirektiivi sekä ilmanlaatu- ja päästökattojen** sääntely. Näiden tavoitteena on parantaa ravinteiden kierrätystä ja rajoittaa päästöjä, kuten esimerkiksi typen oksideja, ammoniakkia ja maatalouden dityppioksidia.⁸⁸⁰

Lyhyellä aikavälillä markkinoiden läpinäkyvyys ja tietojen saatavuus ovat keskeisiä. Komissio on perustamassa **EU:n lannoite-markkinoiden seurantakeskuksen**, joka kerää reaaliaikaista tietoa lannoitteiden hinnoista, tuotannosta ja kaupasta. Vastaavia markkinaseurantajärjestelmiä on käytössä esimerkiksi maidon ja viljan suhteen.⁸⁸¹ Myös esimerkiksi kansainvälinen lannoitetuottajien kattojärjestö *International Fertilizer Association* (IFA) seuraa lannoitteiden tuotantoa ja käyttöä.

Komissio antoi vuonna 2022 tiedonannon, jossa käsitellään lannoitteiden saatavuutta ja kohtuuhintaisuutta.⁸⁸² Euroopan parlamentti hyväksyi helmikuussa 2023 päätöslauselman, jossa vaaditaan pitkäjänteistä **EU-tason lannoitestrategiaa**. Tavoitteena on vähentää fossiilisia riippuvuuksia (esim. venäläisestä maakaasusta), parantaa lannoitteiden saatavuutta ja tukea kierotaloutta.⁸⁸³ Euroopan komissio hyväksyi toukokuussa 2026 **lannoitteita koskevan toimintasuunnitelman**, jossa on välittömiä, viljelijöille suunnattuja tukitoimenpiteitä, joilla tuetaan lannoitteiden kohtuuhintaisuutta ja toimitusvarmuutta sekä pidemmän aikavälin toimia, joilla pyritään vahvistamaan EU:n lannoitetuotantoa. EU pyrkii esimerkiksi parantamaan investointiedellytyksiä vähähiiliselle lannoitetuotannolle, erityisesti vihreälle ammoniakille, sekä edistämään biopohjaisia ja kierrätettyihin ravinteisiin perustuvia ratkaisuja.⁸⁸⁴

879 Lemola ym. 2023.

880 Ks. Oger 2022.

881 Directorate-General for Agriculture and Rural Development 2023.

882 European Commission 2022c.

883 European Parliament 2023.

884 Ks. European Commission 2026e.

3.7 Varautumisen keinoja

- Ruoantuotanto, ruokailutottumukset ja talousjärjestelmät voivat sopeutua muuttuneisiin olosuhteisiin, toisin kuin planeetan rajoja määrittävät biofysikaaliset lait, jotka ovat ehdottomia. Ihmistoiminta voi olla kestävä ainoastaan, mikäli se asettuu planetaaristen rajojen puitteisiin.
- Strateginen, pitkän aikavälin kestävyys varmistava ja siilorajat ylittävä hallinta puuttuu ruokajärjestelmästä ja sen huolto- varmuuden varmistamisesta.
- Lannoitteiden käytöstä ei ole yhteistä, jaettua tilannekuvaa alan keskeisten toimijoiden kesken.
- Keinot omavaraisuuteen ja toisaalta kestävyys siirtymän toteuttamiseen ovat erilaiset eri ravinteiden kohdalla. Lannoitteiden käyttöä on kuitenkin mahdollista vähentää monin tavoin ja täten vähentää riippuvuutta tuontipanoksista.
 - Puhtaan, kotimaisen ammoniakkin tuotanto lannoiteteollisuuden tarpeisiin tukisi typpiomavaraisuutta.
- Ravinteiden näkökulmasta nykyinen ruoantuotannon eläin- tuotantoon painottuva ja alueellisesti eriytynyt järjestelmä heikentää kykyä sopeutua kriisiolosuhteisiin.
 - Yhteiskunnan resurssien käyttö (maa- alan, veden, ravinteiden jne.) on tehokkaampaa, kun tuotetaan kasvi- proteiineja ihmiskäyttöön verrattuna eläinproteiineihin tukeutumiseen.
- Kaliumin ja hivenaineiden kierrätysmahdollisuutta selvitetään parhaillaan Suomessa.
- Ihmisravinnon proteiini- lähteiden muuttaminen kasvis- painotteisiksi – esimerkiksi palkokasvien viljelyn ja kotimaisen kasviproteiinien prosessointikapasiteetin lisäämisellä – tukee ravinnehuoltovarmuutta ja parantaa ruoantuotannon ekologista kestävyyttä.
- Kannustimia ja tukea ravinteiden käytön vähentämiseen vilje- lyssä ja ravinteiden kierrättämiseen tulisi lisätä.

Tilannekuva lannoitteista ja niiden käytöstä ei ole yhtenäinen tämän tutkimuksen haastateltavien kesken: toisten mielestä lannoitteiden hinta ohjaa niiden järkevään käyttöön, kun taas toisten mielestä kokonai- suudessaan lannoitteita käytetään edelleen tuhlailevasti ja liiallisesti, etenkin joillain kotieläintiloilla. Fosforiin liittyen korostuivat eri nä- kökulmat, kun osa haastateltavista painotti ympäristöön jo kertynyttä

fosforia ja ravinnekuormitusta ongelmana, kun taas osa nosti esiin peltomaiden vähäisen fosforipitoisuuden ja tarpeen turvata kasvien fosforinsaanti. Maatalouden osuudesta Itämeren ravinnekuormitukseen oltiin puolestaan eri mieltä, kun osa haastateltavista ei pitänyt maataloutta merkittävänä kuormittajana, ja toisten mukaan erityisesti paikoin runsas lannan käyttö johtaa ravinteiden päätymiseen mereen. Toiset näkivät eläintuotannon Suomen huoltovarmuuden kivijalkana, kun taas toiset painottivat eläintuotannon olevan kestävämmällä tasolla ja heikentävän mahdollista sopeutumista kriisiolosuhteisiin. Jaetun tilannekuvan puute ja ideologiset erot voivat hankaloittaa ravinteiden huoltovarmuuden suunnittelua ja kehittämistä.

Sitran järjestämän työpajatyöskentelyn perusteella **ruoka-järjestelmältä puuttuu myös strateginen johtajuus ja hallinta, joka varmistaisi Suomen ruoantuotannon pitkän aikavälin kestävyys**.⁸⁸⁵

Ruoantuotannon kestävyttä tutkinut haastateltava korosti, että huoltovarmuusajattelua tulisi laajentaa niin, ettei keskitytä vain tuotannon riittävyyteen lyhyellä aikavälillä vaan varmistettaisiin myös pidemmän aikavälin kestävyys. Valtioneuvoston huoltovarmuus-selonteossa mainitaan, että lannoitevalmisteiden kotimaisen tuotannon kehittäminen ja lisääminen ovat tärkeitä kehittämis-kohteita, sillä vain osaa mineraalilannoitteiden raaka-aineista on saatavilla Suomesta.⁸⁸⁶

Mahdollisuudet ja keinot omavaraisuuteen ja toisaalta kestävyys-siirtymän toteuttamiseen ovat erilaiset eri lannoitteissa: Kalium- ja fosforilannoitteiden valmistus riippuu rajallisista ja paikkasidon-naisista mineraalipohjaisista raaka-aineista, eli niiden kohdalla korostuvat käytön tehostaminen ja kierrättäminen, mutta val-mistusprosessit tulisi muuttaa päästöttömiksi niidenkin kohdalla. Typpipohjaisten lannoitteiden valmistus riippuu ammoniakkin valmis-tuksesta, jota voitaisiin valmistaa kestävästi esimerkiksi Suomessa, mutta senkin käyttömäärää tulisi vähentää muun muassa tehos-tamisella ja ravinteiden kierrätyksellä. Fosfori- ja typpilannoitteet aiheuttavat kuormitusta ilmastoon ja ympäristöön, eli niiden käytön vähentämistä tulisi edistää. Kaliumin ja hivenaineiden kierrätysmah-dollisuutta selvitetään haastateltavien mukaan Suomessa parhaillaan. Tuoretta tutkimustietoa maaperän kaliumista on heidän mukaansa niukasti. Kaliumin huoltovarmuuteen ei ole juurikaan kiinnitetty

885 Ks. Saarinen & Lehtinen 2026; myös Kaljonen ym. 2022.

886 TEM 2022.

huomiota, sillä sen käyttömäärät ovat pieniä ja sen saanti Saksasta on nähty varmana.

Maatalous- ja maankäyttösektorin päästöt ovat ratkaisevia Suomen EU-tason päästövähennys- ja nieluvelvoitteiden täyttämiseksi, mutta päästöjen vähentäminen on näillä sektoreilla edennyt muita hitaammin.⁸⁸⁷ Samalla kun eläinperäiset elintarvikkeet aiheuttavat 84 prosenttia EU:n elintarviketuotannon kasvihuonekaasupäästöistä, EU käyttää 82 prosenttia maataloustuista juuri näiden tukemiseen – 44 prosenttia rehuntuotantoon.⁸⁸⁸ Liha- ja maitotuotteita tuotiin yli 10 kertaa enemmän kuin hedelmä- ja vihannestuotantoa ja yli 16 kertaa enemmän kuin viljantuotantoa. Pelkästään naudan- ja lampaanliha sai yli 580 kertaa enemmän tukea kuin palkokasvit.⁸⁸⁹

Ympäristölle haitallisten ja ristiriitaisten maataloustukien purkamista (kuten kannustimia pitää turvepeltoja viljelyssä) **ja uudelleenohjausta** (esimerkiksi kasviproteiinien tuotantoon ihmisravinnoksi tai kustannusperusteisista tuista tulospäätöksiin kannustinpalkkioihin) tarvitaan sekä kansallisella että EU-tasolla.⁸⁹⁰

Tutkimusnäyttö osoittaa, että ruoantuotannon kestävyys saavuttaminen edellyttää nykyisten tuotantotapojen kehittämisen lisäksi myös **eläintuotannon määrällistä vähentämistä**. Pelkkä nykyjärjestelmän marginaalinen tehostaminen lukitsee ruoantuotannon kokonaisuutta entistä syvemmin kestävämmälle polulle ja tekee tulevista, välttämättömistä muutoksista vaikeampia ja kalliimpia toteuttaa.⁸⁹¹ Nykyään Suomessa valtaosalla – 70 prosentilla – viljelyalasta tuotetaan rehua eläimille. Tuotanto vaatii jatkuvaa lannoitteiden tuontia ulkomailta. Noin 40 prosenttia nykyisestä viljelyalasta on nurmea, ja myös ohraa, kauraa, härkäpapua ja hernetta viljellään eläinten ravinnoksi. Naudanlihan tuotannossa korostuu lisäksi eloperäisten maiden, kuten turvemaiden hiilidioksidipäästöt, jotka ovat hehtaarikohden 20 kertaa suuremmat kuin kivennäismaiden päästöt.⁸⁹² Vain noin 3 prosenttia härkäpavuista käytetään elintarvikkeina, ja ylipäätään valtaosa valkuaiskasvien tuotannon potentiaalista on käytettämättä.⁸⁹³ Eläintuotantoa vähentämällä laskettaisiin ruoantuotannon tarvitsemaa pinta-alaa, mikä auttaisi hillitsemään maatalouden kasvihuonekaasupäästöjä ja monimuotoisuushaittoja (esimerkiksi

887 Esim. Mikola & Silfver 2025.

888 Kortleve ym. 2024.

889 Foodrise 2026.

890 Foodrise 2026; Helenius ym. 2023; Kaljonen ym. 2022; Lehtonen ym. 2022.

891 Herzon ym. 2024; Lehtonen & Rämö 2023.

892 Saarinen ym. 2019; Virranniemi 2021.

893 Jansik ym. 2024.

turvepeltojen ennallistamisen avulla⁸⁹⁴ tai monivuotisten bioenergia-kasvien viljelyllä⁸⁹⁵). Bioenergian tuotannosta ylijäävä rejektivesi eli mädätysjäännös käy kasvien viljelyn lannoitteeksi eläinten lannan tilalle.⁸⁹⁶ Kokonaisuudessaan eläintuotannon määrää vähentämällä saadaan laskettua eläinten ravinnoksi menevien kasvien vaatimaa mineraalilannoitteiden tarvetta sekä eläinten vaatimaa tuontirehun tarvetta, jolloin riippuvuus tuontipanoksista laskee.⁸⁹⁷ Haastattelui-
neiston mukaan karjan vähentäminen jättäisi enemmän pinta-ala-
toteuttaa sellaisia viljelykiertoja, jotka auttavat vähentämään lannoit-
teiden tarvetta.

Useat haastateltavat ja kirjalliset lähteet korostivat **eläintuotan-
non ja kasvinviljelyn integroinnin tärkeyttä** ravinteiden kannalta, jolloin
eläinten jätösten sisältämät ravinteet hyödyttäisivät kasvinviljelyä.
Integroitu tuotanto asettaa luonnolliset rajat eläintuotannon määrälle.
Tällä hetkellä kotieläintuotanto on alueittain keskittynyt tiettyihin
osiin maata, mikä vaikeuttaa ravinteiden kierrätystä. Nyt kasvinvil-
jelytilat käyttävät fosforin suhteen pääosin mineraalilannoitefosforia,
kun taas kotieläintilojen lantafosfori käytetään pääosin kotieläin-
tiloilla rehuntuotannossa.⁸⁹⁸ Samalla kohtuullinen ja alueellisesti
hajautettu karjankasvatus olisi hyödyllistä muun muassa viljelykier-
ron, maaperän hiilivarastojen ja monimuotoisuuden ylläpitämiseksi.⁸⁹⁹
Eläintuotannon monimuotoisuushyödyt eli perinnebiotooppien yllä-
pito laiduntamalla voitaisiin toteuttaa muutamalla prosentilla Suomen
nykyisestä nautamäärästä.⁹⁰⁰ Pysyvää luontaista kasvillisuutta, jota
eläimet söisivät, ei tällöin tarvitse myöskään lannoittaa ja ravintei-
den hukkaaminen vähenee.⁹⁰¹ (Globaalisti laidunnus on kuitenkin
suurimmassa osassa laidunnusmaita niin intensiivistä, että maape-
rät tulee päästölähde.⁹⁰²) Nekin tutkimushankkeet, jotka eivät ota
kanta eläintuotannon määrään, muuttaisivat sen laatua niin, että
omavaraisuusastetta rehussa lisättäisiin.⁹⁰³ Täydennysvalkuais-
rehun omavaraisuusaste oli 27,2 prosenttia vuonna 2023. Esimerkiksi
jo herneen ja härkävun viljelyalan kolminkertaistaminen (kuuteen

894 Hayek ym. 2021; Lehtonen & Rämö 2023; Regina 2021; Saarinen ym. 2019; Virranniemi 2021.

895 Saarinen ym. 2019.

896 Saarinen ym. 2019.

897 Esim. Huan-Niemi ym. 2021.

898 Herzon & Toivonen 2024; Lemola ym. 2023; Tampio ym. 2022.

899 Lehtonen & Rämö 2022.

900 Pohjanpalo 2019.

901 Huan-Niemi ym. 2021; Rytteri ym. 2024; Torres-Miralles ym. 2022.

902 Ren ym. 2024.

903 Esim. ScenoProt; Leg4Life; Jansik ym. 2024.

prosenttiin kokonaisviljelyalasta) poistaisi tuontiriippuvuuden eläinten tarvitsemisissa täydennysproteiineissa.⁹⁰⁴

Palkokasvien viljelyn lisääminen kasvattaisi siis Suomen huoltovarmuutta viimeaikaisten tutkimusten valossa sekä ravinteiden että proteiiniomavaraisuuden näkökulmista.⁹⁰⁵ Suomessa on jopa riittävä määrä sopivaa maata proteiinipitoisten kasvien viljelyyn kaikkien suomalaisten tarpeeseen.⁹⁰⁶ Palkokasvien viljely auttaa ravinteiden kierrossa, sillä palkokasvit sitovat ilmakehän typpeä maahan jopa yli oman tarpeensa ja vähentävät näin typpilannoituksen tarvetta. Viljelykasvien monipuolistaminen parantaa maaperän kasvukuntoa, jolloin kasvit pystyvät hyödyntämään maaperän ravinteet tehokkaammin, mikä myös osaltaan vähentää ravinteiden hävikkiä.⁹⁰⁷ Palkokasvien biologisella typensidonnalla olisi mahdollista korvata väkilannoitetypen nykyisestä käytöstä maataloudessa yhteensä 89 miljoonaa kilogrammaa eli 60 prosenttia (kasvintuotantotiloilla 38 milj. kg, nurmitiloilla 51 milj. kg).⁹⁰⁸ Suomen kasviproteiinituotanto on vain 29 prosenttia suhteessa koko proteiinikulutukseen, vaikka se voisi olla jopa 98 prosenttia.⁹⁰⁹

Palkokasvien viljelymäärien kasvattaminen edellyttää niiden taudinkestävyyden parantamista ja kylvösiementen parempaa saatavuutta. Palkokasvit ovat myös tarkempia maalajivaatimuksissaan, mutta tietoisuutta tästä voidaan lisätä lisäkoulutuksilla ja neuvonnalla. Palkokasvien siemenissä on nykyisin tuontiriippuvuutta, sillä esimerkiksi suurin osa nurmipalkokasvien kylvösiementarpeesta katettiin tuonnilla. Palkokasvien siementuotannon lisääminen, siementen varastointi ja tilojen varastossa olevan sadon kunnostaminen siemeneksi kasvattaisi typpitalouden omavaraisuutta. Palkokasvien tuotantoa voidaan siis lisätä muun muassa kohdentamalla viljelijöille taloudellisia kannustimia, kehittämällä viljelyvarmoja ja satoisia lajikkeita, parantamalla viljelykäytäntöjä sekä peltojen vesitaloutta ja hyödyntämällä tehokkaammin uutta teknologiaa. Lisäksi tarvitaan panostuksia kasviproteiinien prosessiteknologiaan ja tuotekehitykseen, jotta kasviproteiinien viljelyala, satotasot ja käyttö ihmisravintona voivat kasvaa. Elintarvikekäyttöön kelpaamaton

904 Jansik ym. 2024; Pohjanpalo 2025.

905 Helenius ym. 2023; Leg4Life 2024.

906 Saarinen ym. 2019; myös Jansik ym. 2024.

907 Strateginen tutkimus 2020; myös Jansik ym. 2024; Keskitalo ym. 2022; Niskanen 2021.

908 Jalli ym. 2023.

909 Jansik ym. 2024.

kasviproteiini ohjattaisiin eläinten rehuksi tai mädätykseen.⁹¹⁰ Huoltovarmuuskeskus voisi lisätä tukeaan palkokasvien jalostukseen (ks. esim. rypsilajike Aurea CL⁹¹¹).

Tutkimusnäyttö osoittaa, että **ravitsemuksellisesti riittävä ruokavälio** voidaan rakentaa pääosin kasvipohjaisista proteiininlähteistä ja pienemmistä määristä eläinperäisiä tuotteita, mikä mahdollistaa etenkin terveydelle haitallisten punaisen ja prosessoidun lihan kulutuksen vähentämisen.⁹¹² Onneksi yhteiskuntia määrittävät sosiaaliset prosessit, kuten ruokailutottumukset, maataloustuet ja talousjärjestelmät, jotka voivat sopeutua muuttuviin olosuhteisiin, toisin kuin planeetan rajoja määrittävät biofysikaaliset lait, jotka ovat ehdottomia.⁹¹³ Kuluttajille suurimmat esteet nykyistä kestävämmän ruokavalion käyttöönotolle Suomessa ovat kulttuuriset – eivätkä esimerkiksi taloudelliset.⁹¹⁴ Kauppakettajat vaikuttavan puolestaan jarruttavan ruoan kestävyysmurrosta vegaanituotteiden korkealla hinnoittelulla.⁹¹⁵ Tukijärjestelmä ohjaa viljelyä vahvasti, jolloin sen muuttaminen tarjoaa keinoja kestävämpään tuotantoon.⁹¹⁶ Eläintuotannon kaupalliset toimijat ja edunvalvojat puolestaan aktiivisesti kyseenalaistavat omien intressiensä vastaista tutkimusnäyttöä eläintuotannon ilmasto- ja ympäristökuormituksesta.⁹¹⁷

Kuten aiemmin todettu, **uudistavalla viljelyllä ja monilla luomutuojien hyödyntämillä menetelmillä** voitaisiin parantaa ruoantuotannon kestävyyttä samalla kun vähennettäisiin riippuvuutta ulkoisista tuotantopanoksista.⁹¹⁸ Haastateltavat muistuttavat, että hyväkuntoinen maa tarvitsee vähemmän tuotantopanoksia. Esimerkiksi luomutuotannon kasvattaminen EU:n biodiversiteettistrategian tavoitteiden mukaiseen 25 prosenttiin Suomessa olisi mahdollista niin, ettei syntyisi ristiriitaa ruoantuotannon riittävyyden tai muiden luonnon monimuotoisuuden toimien kanssa.⁹¹⁹ Luomutuotannon laajentaminen on toteutettavissa nykyisellä peltoalalla, eli metsiä ei ole tarvetta raivata pelloiksi.⁹²⁰ Samaan aikaan ihmisten ruokavälioita

910 Helenius ym. 2023; Helsingin yliopisto ym. 2024; Jansik ym. 2024; Järvenranta, Kapuinen ym. 2022; Keskitalo ym. 2022; Saarinen ym. 2019; Vainio n.d.

911 HVK 2023.

912 Helenius ym. 2023; Herzon ym. 2024; Päivärinta ym. 2020; Ruokavirasto 2025b.

913 Herzon ym. 2024; myös Rockström ym. 2025.

914 Niemi 2024.

915 Markkinointiutiset 2024.

916 Esim. Lehtonen ym. 2022.

917 Ks. esim. lausunnot Kansallisesta ruokastrategiasta 2040.

918 Iivonen & Karikallio n.d.; Iivonen ym. 2023; ks. myös osio *Kestävyysriittymä lannoitteissa*.

919 Rytteri ym. 2024.

920 Iivonen ym. 2023.

olisi muutettava kasvispainotteisemmiksi, vähennettävä ruokajätettä ja parannettava maatalouden tuottavuutta.⁹²¹ Luomuviljelyssä sadot ovat yleensä keskimäärin 60 prosenttia tavanomaisesta, mutta herneessä ja härkäpavussa sadot pysyvät luomutuotannossakin lähellä tavanomaista niiden typpiomavaraisuuden takia.⁹²² Luomutuotannon satoja on mahdollista nostaa muun muassa parantamalla viljelijöiden neuvontaa, kehittämällä kasvilajikkeita luomutuotantoon soveltuvammiksi ja parantamalla eloperäisten ravinteiden saatavuutta.⁹²³

Typen käyttöä voitaisiin **tehostaa täsmälannoituksella**, jossa lannoitteita voidaan annostella paikkakohtaisesti kasvuolosuhteiden määrittelyyn perustuen. Täsmälannoitus on yksi täsmäviljelyn tärkeimmistä elementeistä. Täsmäviljelyssä maatalouden tuotantopanosten käyttö perustuu mitattuun tietoon.⁹²⁴ Täsmäviljelyllä on esimerkiksi Yhdysvalloissa nostettu satotasoja kasvista ja teknologioista riippuen jopa kymmeniä prosentteja, mutta Suomessa täsmäviljelyn hyödyntäminen on edelleen hyvin vähäistä.⁹²⁵ Haastateltavat kuvailevat, että typen kierrossa hävikkiä tapahtuu paljon, eli tehostamisen varaa olisi esimerkiksi karjasuojien ja viljelymenetelmien suhteen. Ongelmaksi nähtiin etenkin viljatilojen huono kannattavuus, mikä tekee täsmäviljelyn kustannusten (esim. droonien ja sensoreiden) kattamisesta haastavaa tiloille. Toisaalta teolliset tutkimukset myös kyseenalaistavat erilaisten datapohjaisten ja täsmäviljelyn menetelmien hyödyt: niihin liittyviä ympäristökäytävyyttä koskevia väitteitä, kuten lannoitteiden, torjunta-aineiden ja veden käytön vähentämistä tai kasvihuonekaasupäästöjen pienentämistä, ei ole aukottomasti todistettu tehokkaiksi. Jossain tapauksissa lannoitteiden käyttöä on pystytty niiden avulla vähentämään, mutta toisissa tapauksissa vaikuttaa jopa siltä, että torjunta-aineiden ja lannoitteiden käyttö on lisääntynyt täsmäviljelyn yleistymisen myötä.⁹²⁶

Orgaanisten lannoitteiden, kuten lannan ja kierrätyslannoitteiden, käyttö mainitaan useissa selvityksissä ja tutkimuksissa keinoksi parantaa lannoitteisiin liittyvää huoltovarmuutta. Suomessa on jo pitkään pyritty ravinteiden kierrätyksen lisäämiseen, ja aihetta on käsitelty lukuisissa hankkeissa. Kierrätyslannoitteet ovat kierrätävistä sivuvirroista prosessoituja, eloperäisiä lannoitevalmisteita.⁹²⁷

921 Rytteri ym. 2024.

922 Saarinen ym. 2019.

923 Rytteri ym. 2024.

924 Pesonen ym. 2022; Vainio n.d.

925 Jansik ym. 2024.

926 Gustin 2026.

927 Helenius ym. 2023; Keskitalo ym. 2022; Lemola ym. 2023; Niskanen 2021; Tampio ym. 2022.

Yhteiskunnan biomassojen prosessoinnilla on kiertotalouspotentiaalia sekä energian että ravinteiden suhteen.⁹²⁸ Lähes kaikkien kierrätyslannoitevalmisteiden elinkaaren päästöt ovat lisäksi alhaisemmat kuin vastaavan mineraalilannoitteen päästöt,⁹²⁹ eikä kierrätyslannoitteiden hinta heilahtelevuuden aikana kuten tavanomaisten lannoitteiden.⁹³⁰

Vuosittain Suomessa syntyy erilaisia runsaasti ravinteita sisältäviä biomassoja, joista suurin osa on eläinten lantaa.⁹³¹ Esimerkiksi lannan fosforia muodostui 15,2 miljoonaa kilogrammaa vuodessa, ja yhdyskuntien ja elintarviketeollisuuden sivuvirtojen fosforisisältö on noin 6 miljoonaa kilogrammaa, mistä kasvintuotannossa hyödynnetään tällä hetkellä vajaa kolmannes. Mineraalilannoitteina fosforia on myyty noin 10 miljoonaa kilogrammaa vuosittain.⁹³² Kotieläinten lannassa on puolestaan tyypeä 73,2 miljoonaa kilogrammaa ja liukoista tyypeä 32,2 miljoonaa kilogrammaa. Muissa sivuvirroissa on yhteensä 16,9 miljoonaa kilogrammaa tyypeä ja liukoista tyypeä 2,8 miljoonaa kilogrammaa. Liukoinen tyyppi on helpoiten ja nopeiten kasvien hyödynnettävissä. Loput tyypestä on orgaanisena tyypinä, joka voidaan osittain mineralisoida liukoiseksi prosessoimalla biomassoja. Suoraan maahan levitettynä se vapautuu hitaammin kasvien käyttöön. Vuosittain epäorgaanisten tyypilannoitteiden käyttö on noin 135–155 miljoonaa kilogrammaa.⁹³³

Monet selvitykset kehottavat **yhdyskuntien jäteveden ravinteiden** talteenottoon: keskiverto asukas tuottaa vessavesiinsä 4,5 kilogrammaa tyypeä, 0,6 kilogrammaa fosforia ja 1,3 kilogrammaa kaliumia joka vuosi. Jäteveden ja lietteen käsittelytekniikoita olisi kuitenkin muutettava, jotta ravinteita saataisiin talteen.⁹³⁴

Valtaosa eläinten lannasta käytetään sellaisenaan pelloilla paikallisesti, ja vain noin 5–7 prosenttia prosessoidaan.⁹³⁵ Joillain alueilla, kuten Pohjanmaalla, lannan fosforia syntyy ja sitä käytetään enemmän kuin mitä kasvit tarvitsevat, mikä pahentaa vesistöjen kuormitusta. Lanta ja muut biomassat riittäisivät kattamaan 90 prosenttia nykyisestä kasvien fosforilannoitustarpeesta. Lanta yksinään kattaisi 65 prosenttia. Tämän potentiaalin realisoituminen edellyttäisi nykyistä suuremman biomassamäärän käsittelyä kuljetettaviksi

928 Helenius ym. 2023; Luke n.d.b; Luostarinen n.d.; MMM n.d.

929 Timonen ym. 2020.

930 Aakkula ym. 2019.

931 Esim. Lemola ym. 2023; Luostarinen n.d.; Tampio ym. 2026.

932 Lemola ym. 2023.

933 Niskanen 2021.

934 Helenius ym. 2023; Lemola ym. 2023; myös Vainio n.d.

935 Lemola ym. 2023; Luostarinen n.d.; Tampio ym. 2026.

ja helposti levitettäväksi lannoitetuotteiksi.⁹³⁶ Lannan ja esimerkiksi biokaasulaitosten mädätteen kuljetukseen ja varastointiin liittyy nimittäin haasteita korkean vesipitoisuuden ja typen haihtumisen vuoksi, joita voitaisiin lievittää jatkojalostamalla niitä erilaisilla prosessointitekniikoilla. Yksi keskeinen haaste erilaisten kierrätyslannoitevalmisteiden käytössä on lisäksi levityskaluston kapasiteetin sekä lannoitteiden olomuodon ja ravinnepitoisuuksien välinen yhteensopimattomuus, mutta sitä voidaan ratkoa esimerkiksi rakeistamalla niitä mineraalilannoitteiden kaltaisiksi.⁹³⁷

Haastateltavat toivat esiin niin sanotun lantapoikkeuksen poistamisen keinona edistää ravinteiden kierrätystä. Haastateltavista osa korosti, että mineraalilannoitteita tarvittaisiin jatkossakin esimerkiksi niiden tarkasti tiedetyn ravinnesisällön vuoksi ja ylipäättään kasvien korkean typen tarpeen vuoksi. Eräs heistä kuitenkin kuvaili, että mädätettä olisi teknisesti mahdollista jalostaa niin, että typpi ja fosfori saataisiin erilleen, mikä helpottaisi kierrätysvalmisteiden käyttöä.

Osa haastateltavista näki biokaasutuotannon laajemman hyödyntämisen ympäristön ja omavaraisuuden näkökulmista positiivisena. Eräs haastateltava kuvasi, että biokaasulaitosalalla on käynnissä suorastaan lantabuumi, eli pääasiassa lantaa käyttäviä laitoksia on jonkin verran rakenteilla ja suunnitteilla.⁹³⁸ Joissain tutkimuksissa on osoitettu, että biokaasun integrointi maatalouteen parantaa ravinteiden kierrätystä ja vähentää niiden hukkaan joutumista.⁹³⁹ Maatilojen yhteydessä toimivien biokaasulaitosten määrä onkin kaksinkertaistunut vuodesta 2020, ja myös suurempia laitos-hankkeita on vireillä.⁹⁴⁰ Kierrätyslannoitteiden tuotantoon tarvitaan nimenomaan suurempia, keskitettyjä biokaasulaitoksia.⁹⁴¹

Muutama haastateltava suhtautui varauksella biokaasulaitosten kykyyn ratkaista ravinteiden kierrätyksen haasteita. Riskinä on, että ravinteita muodostuu laitoksissa enemmän kuin lantaa syöttävät tilat tarvitsevat – etenkin jos kokonaisuuteen tulee mukaan esimerkiksi elintarviketeollisuuden ravinteita. Tällöin kokonaisuus ei toimi, ellei mukaan oteta enemmän tiloja. Toinen haastateltava muistutti, että biokaasulaitokset osana ravinnekiertoa eivät muuta ravinteiden kokonaismäärää eivätkä siten ratkaisevasti muuta tilannetta. Kirjoittajien

936 Lemola ym. 2023; Marttinen ym. 2017.

937 Vainio n.d.; Tampio ym. 2022.

938 Ks. esim. Pikkupeura 2026; Talvitie 2026.

939 Ks. Koppelmäki ym. 2021.

940 Helenius ym. 2023; Suomen biokierto ja Biokaasu ry 2025.

941 Ks. Luostarinen ym. 2019.

näkökulmasta **investoinnit lantapohjaisiin biokaasulaitoksiin ja lantaan perustuviin kierrätyslannoitteisiin voivat ”lukita” järjestelmää kestävämmälle nykypolulle**, jos ne perustuvat siihen, että eläintuotannon roolia ei voida pienentää planetaaristen rajojen mukaiseksi.

Typpilannoiteteollisuus Suomessa on riippuvaista tuontiammoniakista. Ammoniakin tuotanto tulisi Luken selvitysten ja monen haastateltavan mukaan aloittaa Suomessa uudelleen.⁹⁴² Osa katsoi, että typpilannoiteomavaraisuutta voitaisiin turvata kasvattamalla biokaasun tuotantomäärää, jolloin siitä puhdistettua biometaanua voitaisiin hyödyntää ammoniakin valmistuksessa. Nykyisin vain noin 13 prosenttia biokaasusta jalostetaan biometaaniksi.⁹⁴³ Monet korostivat kuitenkin **elektrolyysillä valmistettuun vetyyn perustuvaa ammoniakin tuotantoa tärkeänä pidemmän aikavälin keinona varmistaa lannoitteiden omavaraisuus ja päästöttömyys**. Yhdysvaltojen ja Israelin sota Irania vastaan sekä Hormuzinsalmen meriliikenteen häiriintymisen korostavat tarvetta siirtyä maataloudessa vihreään, uusiutuvilla energialähteillä tuotettuun ammoniakkiin, joka mahdollistaisi lannoitteiden paikallisen valmistuksen ilman riippuvuutta fossiilisista polttoaineista tai yksittäisistä tuontialueista. Lyhyemmällä aikavälillä venäläisen ammoniakin tuonnin korvaaminen muulla tuonnilla näytetään helpoimpana vaihtoehtona.⁹⁴⁴ Kirjallisuudessa on nostettu esiin myös typen tuottaminen plasmateknologialla, minkä edullinen, uusiutuva energiantuotanto voisi mahdollistaa.⁹⁴⁵

Huoltovarmuuskeskus ja lannoiteteollisuus varastoivat esimerkiksi ammoniakkia lyhyitä saantihäiriöitä varten.⁹⁴⁶ Teollisuuden haastateltava kuvaili, että Suomen erikoisuutena on se, että lannoitteet toimitetaan suoraan tiloille niin, että välivarastoja ei ole. Huoltovarmuuskäytännöstä tällainen hajauttaminen nähtiin positiivisena asiana myös kirjallisuudessa. Mikäli tilojen haluttaisiin varastoivan lannoitteita yli kasvukauden tarpeiden, sille pitäisi osoittaa tukea.⁹⁴⁷

Sekä useat haastateltavat että tutkimuskirjallisuus⁹⁴⁸ korostivat taloudellisten kannustimien vahvistamista EU:n ja kansallisen tason kautta: **huoltovarmuutta kasvattaville toimille – kuten ravinteiden tehokkaammalle käytölle ja kierrätykselle, maaperän parantamiselle ja**

942 Esim. Kapuinen ym. 2022.

943 Kapuinen ym. 2022.

944 Vainio 2022.

945 Ks. Kapuinen ym. 2022.

946 Järvenranta, Kapuinen ym. 2022.

947 Esim. Järvenranta, Kapuinen ym. 2022.

948 Esim. Järvenranta, Kapuinen ym. 2022; Lemola ym. 2023.

palkokasvien viljelylle ja kasviproteiinien prosessoinnille – tarvitaan nykyistä selkeämpiä tukia ja ohjausmekanismeja. Samalla tarvitaan, kuten ylempänä todettu, ympäristölle haitallisten ja ristiriitaisten maataloustukien purkamista ja uudelleenohjausta. Osa haastateltavista painotti, että tarvitaan sääntelyä kannustimien rinnalle. Eläintuotannon alueelliseen keskittymiseen voitaisiin puuttua esimerkiksi asettamalla alueellisia ravinnerajoitteita. Tukijärjestelmiä tulisi samalla muokata siten, että suurempi tuki kohdistuu kasveille, joiden lannoitustarve on vähäisempi. Haastateltavien mukaan maatalouden huoltovarmuusriskit tunnistetaan aiempaa paremmin, mutta tämä ei näy riittävästi politiikan käytännön ratkaisuissa. Tukien suuntaamisella voitaisiin vaikuttaa resilienssiä kasvattavaan tuotantorakenteeseen ja alueelliseen hajauttamiseen. Eräs haastateltavista ehdotti, että ruoantuotannon hajauttamista voitaisiin edistää esimerkiksi investointituilla ja verohelpotuksilla elintarvikeyrityksille, mikä vahvistaisi kysyntää ja taloudellista toimintaa.

Kansainvälisessä tutkimuskirjallisuudessa korostetaan **ravinteiden kansainvälisen hallinnan vahvistamisen potentiaalia**. Jotkin monenväliset ympäristösopimukset, kuten YK:n biodiversiteettisopimus tai Pariisin ilmastopuolitus, koskevat lannoitteiden käyttöä epäsuorasti, ja tyyppä käsitellään esimerkiksi YK:n ympäristökokousten päätöslauselmissa kestäväntyyppien hallinnasta. UNEP:n työpöytäryhmä edistää päätöslauselmien täytäntöönpanoa.⁹⁴⁹ YK:n ympäristöohjelma koordinoi myös ravinteiden hallintaa käsittelevää maailmanlaajuista kumppanuusmekanismia (Global Partnership on Nutrient Management), jonka tavoitteena on parantaa ruokaturvaa ja suojella luonnonvaroja ja ympäristöä.⁹⁵⁰ Tutkimuskirjallisuudessa ehdotetaan myös, että kansainvälinen yhteistyö varanto- ja markkinatietojen läpinäkyvyyden ja standardisoidun raportoinnin suhteen voisivat vähentää fosforiin liittyviä geopolittisia riskejä.⁹⁵¹ Eri tahojen, kuten Yhdysvaltain geologisen tutkimuslaitoksen, Maailmanpankin ja Kansainvälisen lannoiteyhdistyksen lannoitteisiin liittyvää tiedonkeruuta ja seuranta voitaisiin yhdistää paremmin laajempiin maataloustietoportaaleihin kuten FOAST:iin tai G20-maiden maatalousministereiden lanseeraamaan *Agricultural Market Information Systemiin*.⁹⁵² Haastateltavat suhtautuivat positiivisesti EU:n lannoitemarkkinoiden seurantakeskukseen, jonka kautta lannoitteisiin liittyvä tilannekuva voi parantua.

949 Brownlie ym. 2023; Kahiluoto ym. 2024; Oger 2022.

950 UNEP 2025b.

951 Brownlie ym. 2023; Chowdhury ym. 2017.

952 Agricultural Market Information System 2026; Brownlie ym. 2023; Hebebrand & Laborde 2022.

4. Tapaustutkimus: Sähkön ja lämmön toimitus- ja huoltovarmuushaasteet energiamurroksessa

Antti Majava & Pekka Passi

4.1 Tiivistelmä

Tapaustutkimuksen aihe: Energiasektorin tilannekuva ja Suomen energiasektorin toimitusvarmuus sähköistymisen edetessä

Tutkimuskysymykset: Missä energiasektorin yhteinen tilannekuva muodostuu ja millaisiin laskelmiin se perustuu? Mikä on tuuli- ja aurinkovoiman osuus sähköntuotannossa ja miten sen odotetaan kasvavan vuoteen 2035 mennessä? Onko lämmöntuotannon turvaaminen mahdollista sähköistymisen edetessä tämänhetkisen tiedon valossa?

Suomen energiasektori on pärjännyt viime vuosien haastavissa ja nopeasti kehittyneissä tilanteissa erinomaisesti, ja energian huolto- ja toimitusvarmuus on Suomessa vahvalla pohjalla. Energiasektorin päästöt ovat vähentyneet nopeasti, ja puhtaan sähkön saatavuus on Suomelle tärkeä vetovoimatekijä. Erityisesti sähkön osalta on kuitenkin tunnistettavissa potentiaalisia riskitekijöitä, joiden ennakointiin

on syytä kiinnittää huomiota. Energian toimitus- ja huoltovarmuuden takaaminen kaikissa oloissa on keskeistä myös ilmastomuutoksen torjumisen kannalta, sillä energiamurroksen puutteellinen koordinaatio voi johtaa taloudellisten ja resilienssiriskien lisäksi myös päästövähennysten hidastumiseen tai pysähtymiseen. Toisaalta energiamurros tarjoaa myös monia uusia huolto- ja toimitusvarmuutta vahvistavia mahdollisuuksia.

Suomessa sähkön toimitus- ja huoltovarmuus on nykytilanteessa hyvin varmistettu. Epävarmuus sähkön hintakehityksestä ja sääntely-ympäristöstä kuitenkin hidastaa investointeja niin sähkön-tuotantoon ja varastointiin kuin sähköä käyttävään teollisuuteenkin. Tuulivoimainvestoinnit ovat hidastuneet heikon kannattavuuden takia, sillä tuotantokustannukset ovat nousseet ja markkinoilla on tapahtunut kannibalisaatiota, josta puhutaan, kun sähköä tuotetaan samanaikaisesti niin paljon, että sen markkinahinta romahtaa. Myöskään ydinvoimalle ei nähdä markkinaehtoista kannattavuusnäkymää. Mikäli sähkön tuotannon investointien kannattavuus ei parane kulutusnäkymän kasvun parantumisen myötä, on todennäköistä, että Fingridin ennustama sähkön kulutuksen ja tuotannon kasvu ei toteudu ennakoitussa mittakaavassa ja aikataulussa. Suomen tuontiriippuvuus sähkötehon osalta kasvaa arvioiden mukaan Pohjoismaiden ja Baltian suurimmaksi vuoteen 2030 mennessä.

Kaukolämmön toimitus- ja huoltovarmuus on myös vakaalla pohjalla. Kaukolämmön tuotannossa ollaan kuitenkin siirtymässä pois polttamisesta erityisesti teollisten hukkalämpöjen hyödyntämiseen ja sähköllä tuotettuun lämpöön, mikä altistaa kaukolämpöjärjestelmiä sähkömarkkinan ja teollisuudenalojen häiriöille. Polttoaineisiin liittyvän sääntelyn sekä tuki- ja veroratkaisujen vaikea ennakoitavuus luovat lisäksi epävarmuutta polttoaineiden käytön jatkamiselle. Bio-massan ja fossiilisten polttoon perustuva lämmöntuotantokapasiteetti jää yhä enemmän huippu- ja varakapasiteetiksi, jolloin polttoaineiden varastointi täytyy pystyä toteuttamaan tehokkaasti ilman hävikkiä.

- Sähkön kuluttajien joustokyky ja investoinnit joustavaan sähkön tuotantoon ovat kehittyneet ennakoitua hitaammin, vaikka sähkön hintavaihtelu on ollut suurta.
- Koska myös Ruotsia uhkaa jatkossa tehovaje, on epäselvää, kuinka Suomi tyydyttää kulutushuippujen aikaisen tehontarpeen ajankohtina, jolloin sääriippuvainen sähkön tuotanto on vähäistä.

- Sähkön kulutuksen ja tuotannon epäoptimaalinen sijoittelu sekä teknologia- ja markkinariskit (esim. vety) voivat kasvattaa merkittävästi sähkön siirtokustannuksia.
- Epävarmuus Suomen ja Pohjoismaiden sähköjärjestelmän kehityksestä yhdistettynä turvallisuusympäristön heikkenemiseen voi tuottaa riskejä sähkön toimitus- ja huoltovarmuudelle.
- Suomi on osa Pohjoismaiden, Baltian ja EU-alueen sähkömarkkinoita, ja kansalliset vaikutusmahdollisuudet erityisesti sähkön hintaan ja hintavaihteluun ovat rajalliset.
- Mikäli hintapiikkejä pyritään tasoittamaan poliittisilla päätöksillä, on julkisen sektorin varauduttava tukemaan tai toteuttamaan sähköjärjestelmän vaatimia investointeja, sillä niiden toteutuminen markkinaehtoisesti muuttuu epätodennäköiseksi.
- Suomessa ei varavoimakoneilla varustettuja erityiskohteita lukuun ottamatta ole kykyä turvata sähkön saatavuutta esimerkiksi alueellisten saarekkeiden avulla sähköverkon suurhäiriötilanteissa
- Hajautettu sähköntuotanto voi potentiaalisesti myös vahvistaa alueellista energiaturvallisuutta, mikäli niiden tuotantoa voitaisiin hyödyntää alueellisissa saarekkeissa myös sähkönjakelun häiriötilanteissa.
- Sähkön tuotannon ja kulutuksen nivominen yhteen ja alueellinen tasehallinta voisivat hillitä sähkön hankinnan kokonaiskustannuksia ja parantaa järjestelmän kriinkestävyyttä.
- Sähkö- ja teollisuusjärjestelmän kokonaistehokkuutta ja kilpailukykyä voitaisiin parantaa vahvistamalla eri toimijoiden yhteistä tilannekuvaa ja suunnittelua.
- Suomi voi tehokkaimmin vaikuttaa sähkömarkkinoiden kehitykseen lisäämällä yhteistyötä Pohjoismaiden, Baltian ja EU:n tasolla sekä mahdollistamalla eri energiamuotoja yhdistävät alueelliset energian tuotannon ja kulutuksen kokonaisuudet (esim. laajat teollisuuspuistot).
- Hukkalämpöön ja sähköön perustuvaan lämmöntuotantokapasiteettiin liittyy riski kriittisten komponenttien hajoamisesta sekä kyberriskejä – toimitus- ja korjausajat voivat olla pitkiä
- Sähkö-, lämpö-, kaasu- ja teollisuusjärjestelmien yhteenkeytyminen tekee kokonaisuudet niin monimutkaisiksi, että niiden hallinta häiriöissä vaikeutuu
- Monimutkaisten riippuvuuksien mallintamiseksi ja energiatehokkuuden parantamiseksi kaukolämpöjärjestelmiä aletaan

optimoida digitaalisilla kaksosilla, joiden suojaaminen kyber-
riskeiltä ja häiriötilanteilta täytyy varmistaa

- Samalla huoltovarmuuden tilannekuvan muodostaminen han-
kaloituu eri toimialojen keskinäisriippuvuuksien kasvun vuoksi
- Kaukolämmön maksimitehon tarpeen arvioidaan säilyvän
13 000–14 000 MW:n tasolla seuraavien kymmenen vuoden ajan
- Viiden vuoden tähtäimellä kaukolämpöverkkojen riittävän
lämmöntuotantokapasiteetin arvioidaan säilyvän poikkeus-
tilanteissakin, vaikka polttokapasiteettia korvautuukin
lähivuosina sähkön käytöllä
- Suurimmat komponenttien ja materiaalien toimitusaika- ja
saatavuusriskit liittyvät tällä hetkellä suuriin muuntajiin sekä
lämpöpumppujen höyrystimiin, lauhduttimiin sekä automaa-
tion siruihin ja muistikortteihin

4.2 Sähköntuotannon kehitysnäkymät

Sähkön **toimitusvarmuuden** kannalta suurin muutos vuoden 2014 tilanteeseen nähden on ollut Olkiluoto 3 (OL3) –ydinvoimalan käynnistäminen vuonna 2023. Toisaalta sähkön tuonnin päättymisen Venäjältä ja sähkön ja lämmön yhteistuotannon (CHP, *combined heat and power*) kapasiteetin osittainen sulkeminen ovat poistaneet markkinoilta kutakuinkin OL3:ta vastaavan määrän jatkuvasti käytettävissä olevaa sähkötehoa. Lisäksi toimitusvarmuusskenaarioihin vaikuttaa heikentävästi Hanhikiven ydinvoimalaitoshankkeen toteutumatta jääminen. Kapasiteetin osalta tilanteen voikin katsoa vastaavan vuoden 2025 alussa kutakuinkin vuoden 2014 tilannetta. Riskiä sähkön toimitusvarmuuden osalta nostavat kuitenkin merkittävästi turvallisuussympäristön heikkeneminen (erityisesti kaapelirikot Itämerellä), yhteiskunnan sähköistymisestä johtuva sähkön tarpeen kasvunäkymä sekä sähkön hintaan ja toimitusvarmuuteen liittyvät haasteet tärkeimmissä sähkön tuontimaissa, erityisesti Ruotsissa.

4.2.1 Tuulivoima

Merkittävästi kasvanut **tuulivoimakapasiteetti** on tehnyt Suomesta vuositasolla lähes omavaraisen sähkön suhteen (tuotanto vs. kulutus). Vaikka tuulivoiman nimelliskapasiteetti on jo ylittänyt 8 000 MW:n tason, on tuulivoimasta saatava teho yli 300 päivänä vuodessa alle puolet nimelliskapasiteetista. Viranomaisten sähkön toimitusvarmuuteen liittyvissä riskiarviossa lähtökohtana on, että tuulivoiman

nimelliskapasiteetista on kaikkina ajanhetkinä käytettävissä vähintään 6 prosenttia eli nykyisellään noin 500 MW.⁹⁵³ Kuitenkin noin 10 prosenttina vuoden päivistä teho tippuu alle 5 prosentin tasolle nimelliskapasiteetista. Tuulivoimakapasiteetin kasvulla ei siten ole juurikaan positiivista vaikutusta Suomen sähköteho-omavaraisuuteen tai sähkön toimitusvarmuuteen. Toisaalta tuulivoiman merkittävä ylikapasiteetti laskee sähkön hintaa ja heikentää myös jatkuvasti käytettävissä olevan tai säädettävän sähkötehon investointien kannattavuutta.

Tuulivoiman **arvioitua pienempi toteutuva vuositason sähköntuotanto ja hetkellisesti käytettävissä oleva sähköteho** on syytä huomioida sähköjärjestelmän suunnittelussa. Pelkästään tuulivoiman varassa olevan sähkönkulutuksen tulisi pärjätä puolella teholla kuutena päivänä seitsemästä ja alle 6 prosentin teholla yhtenä päivänä kymmenestä.

Tämä tuottaa erittäin suuria vaatimuksia rajasiirtokapasiteetin vahvistamiselle, uuden sähkönkulutuksen joustokyvyille ja voi estää teollisten investointien toteutumista, mikäli sähköjärjestelmään ei lisätä kustannustehokasta joustoa.

Koko Pohjoismaiden ja Baltian alueella tuulivoiman tuotanto laskee tilastollisen toteuman perusteella 113 päivänä vuodessa alle 15 prosentin tasolle nimelliskapasiteetista (5 000 / 35 000 MW). Kun vaihtelevien uusiutuvien osuus koko Pohjoismaiden ja Baltian alueen sekä laajemmin Pohjois-Euroopan sähkön kulutuksesta kasvaa, on varauduttava siihen, ettei vähäisen tuulivoiman tuotannon jaksoja pystytä kattamaan sähkön tuonnilla naapurimaista.

Kun uusien, tehokkaampien ja korkeampien tuulivoimaloiden osuus tuulivoiman tuotannosta kasvaa, myös kapasiteettikerroin paranee uusilla voimaloilla saavutetulle tasolle 0,3–0,35. Erittäin vähätuulisten päivien sähkön tuotanto voi uuden tekniikan yleistyessä jatkossa olla hiukan nykyistä korkeampi, mutta myös jatkossa tulee varautua myös täysin tuulettomiin ajanjaksoihin.

Fingridin tuoreimman sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitystä kuvaavan ennusteen mukaan Suomen **sähkön kulutus tulisi kaksinkertaistumaan ja tuulivoimakapasiteetti nelinkertaistumaan** vuoteen 2035 mennessä.⁹⁵⁴ Uusia investointipäätöksiä tuulivoimaan on kuitenkin tehty aiempia vuosia vähemmän, joten jo luvitettua kapasiteettia on jäämässä rakentamatta vuosien 2026 ja 2027 aikana. Vuoden 2025 lopulla tuulivoimakapasiteetti tullee olemaan arviolta

953 Energiavirasto 2024a.

954 Fingrid 2024a.

9600 MW. Mikäli 2026 tuulivoimarakentaminen jää ennusteista vuosien 2026–2030 välillä, vaatisi Fingridin kasvuennusteen toteutuminen vuosina 2030–2035 lähes 5 000 MW:n kapasiteetin lisäystä vuodessa. Tuulivoimarakentamisen volyymi pitäisi tällöin lähes kolminkertaistaa aiempiin ennätysvuosiin nähden. Tämä vaatisi laajamittaisia koulutus- ja työvoimapolitiittisia uudelleenjärjestelyjä, sillä tuulivoimatyömailla tarvittavasta sähköteknisestä ja muustakin erityisosaamisesta on perinteisesti ollut pulaa. Tuulivoimarakentamisen huomattavan kasvun edellytyksenä on vahva taloudellinen suhdanne, jossa tuulivoima joutuisi kilpailemaan osaajista muiden alojen ja maiden kanssa. Työvoiman saatavuuteen tai muihin teollisten investointien volyymejä rajoittaviin tekijöihin ei Fingridin ennusteissa ole kiinnitetty huomiota.

Näyttää myös vahvasti siltä, ettei tuulivoiman kysynnässä ja kannattavuustekijöissä ei ole näköpiirissä niin merkittävää parannusta, että tuulivoimarakentamisen volyymin moninkertaistuminen olisi todennäköistä myöskään aikavälillä 2030–2035. Tähän vaikuttaa muun muassa vedyn rajallinen kysyntänäkymä teollisuudessa ja korkeat kustannukset energiavarastona. Lisäksi laajamittaisen vetyinfrastruktuurin kaavoittamisen arvioidaan vievän vähintään 10 vuotta johtuen muun muassa siitä, ettei turvallisuustekijöistä Suomen ilmastossa ole vielä riittävää tietopohjaa taikka kokemusta.⁹⁵⁵

Sähkön tuotannon ja kulutuksen ajallisten profiilien erkaantuminen toisistaan on johtanut **tuulivoimainvestointien pysähtymiseen Suomessa**.⁹⁵⁶ Sähkömarkkinoilla on vain vähän sellaista sähkön kulutusta, joka korreloisi ajallisesti voimakkaasti vaihtelevan tuulisähkön tuotannon kanssa. Tuulisten keliä edullinen tai lähes ilmainen sähkö on lisännyt vain kaikkein opportunistisinta sähkön kulutusta kotitalouksissa (esim. sähköautojen lataus tai lattialämmityksen ohjaus kotitalouksissa, joilla on pörssisähkösopimus) ja kaukolämpöyhtiöiden käyttöönottamien sähkökattiloiden muodossa. Mikäli sähkökattiloilla korvataan sähköä tuottavia CHP-voimalaitoksia, myös ne voivat osaltaan heikentää sähkön toimitusvarmuutta. Uusien, paljon sähköä käyttävien teollisuusinvestointien kulutusprofiilit eivät korreloi tuuli- tai aurinkovoiman ajallisen tuotantoprofiilien kanssa, vaan ne edellyttäisivät lisäystä jatkuvasti käytettävissä olevaan sähköntuotantokapasiteettiin.

955 Lähteenä keskustelu: Oulun yliopisto, *Vedyn turvallinen siirto ja varastointi* -hanke vuonna 2024.

956 Kuusniemi 2024.

Sähkön tuotannon ja kulutuksen profiilien erkaantuminen toisistaan voi johtaa tilanteeseen, jossa sähkömarkkinat ja osin myös sähköjärjestelmä kehittyvät ennakoidusta⁹⁵⁷ voimakkaasti poikkeavalla tavalla. Seurauksena voi olla esimerkiksi sähkön tuotannon, varastoinnin ja siirron investointien heikko kannattavuus sekä virheellinen ajallinen ja alueellinen priorisointi. Epäoptimaalisesti kohdennetut sähkö- ja energiajärjestelmäinvestoinnit voivat heikentää Suomen teollista kilpailukykyä ja johtaa myös osaltaan sähkön toimitusvarmuuden heikkenemiseen.

4.2.2 Aurinkovoima

Aurinkosähkön tuotannon kokonaiskapasiteetti nousi vuoden 2024 aikana 1 000 MW:n tasolle.⁹⁵⁸ Aurinkovoiman osuus sähköntuotannosta oli 1,4 prosenttia.

Aurinkosähkön kapasiteettikerroin on Suomessa välillä 0,1–0,15. Pelkästään aurinkovoimaa hyödyntävän toimijan tulisi siten selvittää kokonaan ilman sähköä yli puolet vuoden tunneista ja kuluttaa alle 40 prosenttia nimelliskapasiteetista yli 80 prosenttia vuoden tunneista. **Sähkön toimitus- ja huoltovarmuuslaskelmissa aurinkovoimakapasiteettia ei huomioida**, koska aurinkovoiman käytettävyys riippuu täysin vuorokauden- ja vuodenajasta sekä merkittävässä määrin sääolosuhteista.

4.2.3 Muiden kuin uusiutuvien energiamuotojen kehitys

Ydinvoiman osalta Fingridin ennusteissa on huomioitu suunnitellut tehonkorotukset, mutta ydinvoiman vuosituotannon ennakoidaan olevan **likimain samalla tasolla vuonna 2035 kuin vuonna 2025**. Vesivoiman nettotuotannon Fingrid ennakoi säilyvän noin 14 TWh:ssa. Vesivoiman tuotannon vähäinen nousu syntyy olemassa olevien laitosten tehonkorotuksista. Sen sijaan lämpövoimalla tuotetun sähkön tuotannossa (yhteistuotantosähkö, CHP) ennakoidaan merkittävä laskua vuoteen 2035 mennessä. Pääosin talviajalle painottuvan CHP-sähköntuotannon arvioidaan vähenevän peräti 10 TWh:lla vuodesta 2022 vuoteen 2035. Muutos on seurausta pääasiassa polttamiseen perustuvan lämmöntuotantokapasiteetin korvautumisesta sähkökattiloilla ja hukkalämmön hyödyntämisellä.

957 Fingrid 2024a.

958 Energiavirasto 2024b.

4.3 Sähkön hinta ja kulutuksen kehitysnäkymät

Fingrid arvioi **sähkönkulutuksen jopa kaksinkertaistuvan nykytasolta vuoteen 2035 mennessä**. Myös muut pohjoismaiset ja eurooppalaiset kantaverkkoyhtiöt arvioivat sähkönkulutuksen kasvavan sähköistymisen myötä voimakkaasti.⁹⁵⁹ Koska lisäystä sähkön tuotantokapasiteettiin on Pohjoismaissa ja Baltiassa tiedossa lähinnä vaihtelevien uusiutuvien muodossa, olisi optimaalista, että sähkön kulutus kasvaisi vain sellaisen kulutuksen osalta, joka pystyy joustamaan vaihtelevien uusiutuvien tuotantosykliden mukaisesti. Mikäli myös ei-joustava kulutus lisääntyy, on kulutusta katettava energiavarastoilla, tai muuten seurauksena on todennäköisesti keskimäärin nykyistä korkeammat ja vielä nykyistäkin voimakkaammin vaihtelevat sähkön hinnat. Fingridin arvion mukaisen vuoden 2035 noin 165 TWh:n kulutusta vastaavan sähkön tuotantokustannukset uotantokustannukset esitetään taulukossa 3.

959 Svenska Kraftnät ym. 2023.

Energiamuoto	Osuus energian kokonaiskulutuksesta	Tuotantokustannukset (LCOE*)
Tuulivoima	58 %/101 TWh	40 €/MWh (maatuulivoima 30 €/MWh merituulivoima 55 €/MWh)
Aurinkovoima	9 %/16 TWh	30 €/MWh
Vaadittavat energiavarastot	33 %/58 TWh (lisätään sähkön tuotantokustannuksiin)	100 €/MWh (LCOS**)
Ydinvoima	19 %/34 TWh	70 €/MWh
Vesivoima	8 %/14 TWh	30 €/MWh
Lämpövoima	6 %/10 TWh	80 €/MWh
Vaihtelevat uusiutuvat yhteensä	67 %/117 TWh	88 €/MWh
Muut kuin uusiutuvat energia- muodot yhteensä	33 %/48TWh	62 €/MWh
Tuotantokustannukset keskimäärin	100 %/175 TWh	80 €/MWh

Taulukko 3. Taulukon tasoitettun energian kustannuksen (LCOE) ja energiavarastojen käyttökustannusten (LCOS) arvioissa käytettiin tietoja useista lähteistä sekä kirjoittajien omaa analyysiä. Lähteet: Auvinen 2020; BloombergNEF 2025; IEA 2024d; Kost ym. 2024; Lazard 2024; Vakkilainen & Kivistö 2017. [1] Uusiutuvien tuotantomuotojen kohdalla oletettiin oppimiskäyrää vuoteen 2035, jolloin LCOE laskee hieman tämän päivän LCOE:sta. Energiavarastojen kohdalla otettiin teknologianeutraalin keskiarvon arvioiduksi LCOS:ksi. Oletukseen sisältyy yhdistelmä ensisijaisesti pumppuvoimaa ja akustoja, ja pienemmässä skaalassa myös muita energiavarastomuotoja.

Kulutusjoustoja on yllä olevassa arviossa oletettu olevan käytössä 10 GW 4–6 tunnin ajan. Kulutusta siirtyy tällöin vuositason noin 8 TWh vähäisen vaihtelevien uusiutuvien tuotannon ajankohdilta runsaan tuotannon ajankohtiin. Sähkön hinta ei voi pitkällä aikavälillä alittaa tuotantokustannuksia, joten Suomessa on varauduttava siihen että sähkön hankintakustannukset ovat vuositason vähintään 80 €/MWh + siirto, sähköjärjestelmäkustannukset ja verot.

Suomen kilpailukyky energiantensiivisten teollisten investointien sijaintipaikkana riippuu sähkön hankintakustannusten suhteellisesta kehityksestä suhteessa keskeisiin kilpailijamaihin. Jos jonkin taulukossa kuvatun tuotantomuodon tuotantokustannukset kehittyvät ennakoidusta poikkeavalla tavalla, tällä on vaikutusta Suomen kilpailukyyn vain, mikäli kustannukset kehittyvät Suomessa kilpailijamaista poikkeavalla tavalla. Keskeisten sähkön tuotannon ja varastoinnin teknologioiden osalta tämä ei kuitenkaan ole oletettavaa.

4.3.1 Sähkön hintakehityksen epävarmuudet

Suomessa **sähkön hinta sekä kuluttajille että teollisuudelle on perinteisesti ollut Euroopan edullisimpia**. Vuosina 2000–2020 sähkön vuositason keskihinta on ollut Suomessa välillä 33–74 €/MWh. Venäjän tuonnin päättyminen ja yleiseurooppalainen energiakriisi nostivat sähkön hintaa väliaikaisesti myös Suomessa vuosina 2021–2023, mutta vuonna 2024 on palattu takaisin edullisen sähkön aikaan.⁹⁶⁰

Suomen mahdollisuus erittäin edullisen sähkön tuontiin Pohjois-Ruotsista (SE1) pohjautuu alueen vanhan vesivoiman huomattavaan ylikapasiteettiin sekä Ruotsin sisäisen siirtokapasiteetin rajoituksiin. Pohjois-Ruotsin merkittävien teollisuusinvestointien valmistuminen vuosien 2026–2028 aikana nostaa todennäköisesti sähkön hintaa sekä SE1-alueella että Suomessa.⁹⁶¹

Sähkön hinnassa esiintyy merkittävää vaihtelua asiakas- ja sopimustyyppien mukaan. Paljon sähköä käyttävälle teollisuudelle on taattu sopimuksin ja myös erilaisin verohelpotuksin sekä tukien ja kompensatioiden avulla huomattavasti kuluttajasopimuksia tai yleistä sähkön markkinahintaa edullisempi sähkön hinta niin Suomessa kuin useimmissa kilpailijamaissa. Suomen ja esimerkiksi Saksan teollisuuden sähkön hankinnan kustannukset olivat kuitenkin samalla tasolla vuoteen 2021. Sähköistymisen edetessä, sähkön kulutuksen kasvaessa ja siirtoyhteyksien vahvistuessa on

⁹⁶⁰ Niinivuo 2024.

⁹⁶¹ SKGS 2024.

todennäköistä, että myös pohjoisen Ruotsin ja Norjan hintavyöhykkeiden poikkeuksellisen edullinen sähkön hintataso tasoittuu Pohjoismaiden muiden alueiden kanssa.

Suomen aluehinta on viime vuosina ollut varsin yhteneväinen Tukholman alueen SE3-hintavyöhykkeen kanssa, eikä tilanteeseen ole lähivuosina ole odotettavissa muutoksia. Tuulivoiman tuotantokustannukset ovat Suomessa olleet EU-maiden keskiarvon alapuolella, mutta vaikutus toteutuneeseen aluehintaan on kohtalaisen vähäinen. Muiden sähkön tuotantomuotojen osalta tuotantokustannukset kehittyvät muita EU-maita vastaavasti, eikä merkittävää hintakilpailuetua ole näköpiirissä.

Suomen aluehintoja on viime vuosina laskenut hetkellisesti tuulivoiman ylituotanto, joka on johtanut tuulivoiman sähkönmyyntitulon (*capture rate*) laskuun huomattavasti tuotantokustannuksia alhaisemmalle tasolle (tieto koostettu anonymisoidusti sähköyhtiöiden luottamuksellisista taloustiedoista 2024). Tuulivoiman ylituotanto heikentää niin tuulivoiman kuin muidenkin sähkön tuotannon investointien kannattavuutta. Sähkön tuotannon lisäinvestointien edellytyksenä onkin sähkön kulutuksen merkittävä kasvu tai rajasiirtoyhteyksien vahvistuminen.

Koska **Suomella ei ole käytettävissään poikkeuksellisen edullisia energiaresursseja ja rajasiirtokapasiteetti kasvaa**, on syytä olettaa, että sähkön hintakehitys seuraa meillä Pohjoismaiden ja Baltian yleistä kehitystä. Myöskään hintaero Keski-Eurooppaan ei tule olemaan nyt suunniteltavien sähkön tuotannon tai kulutuksen investointien takaisinmaksun ajalla todennäköisesti niin suuri, että se yksin riittäisi esimerkiksi energian tuotannon tai energiasuhteellisuuden teollisuuden investointien houkutteluun Suomeen.

Suomessa **eri toimijoilla vallitsee voimakkaasti toisistaan poikkeavia käsityksiä** sähkön hinnan ja markkinoiden volatiliiteetin kehittymisestä. Usein toistetaan ajatuksia Suomesta poikkeuksellisen halvan sähkön maana tai energian supervaltana. Suomella on toki edellytykset sähkön tarjoamiseen kilpailukykyisellä hinnalla, mutta poikkeuksellisen edullisen sähkön hinnan lupaaminen edellyttäisi jatkossa vahvaa julkisen sektorin kompensatiota sähkön hintaan. Fingridin mukaan erityisesti Suomen harvaan asuttu maapinta-ala mahdollistaisi kilpailijamaita edullisemman tuuli- ja aurinkosähkön tuotantohinnan. Maanvuokrasopimusten hinnat ovat kuitenkin Suomessa nousemassa yleiseurooppalaiselle tasolle, eikä etenkin tuulivoiman sosiaalista hyväksyntää voi pitää itsestäänselvyyttenä.

Käytettävissä olevat arviot sähkön keskimääräisestä vuositason keskihinnasta seuraavalle viidelle vuodelle vaihtelevat 34–67 euron välillä (koostettu yrityksiltä saaduista luottamuksellisista tiedoista). Tuulivoiman ylituotanto laskee sähkön hintaa lähivuosina, mutta hinnat nousevat väistämättä pitemmällä aikavälillä tuotantokustannuksia vastaaviksi. Eri toimijoiden ristiriitaiset arviot sähkön hintakehityksestä voivat vaikuttaa sijoittajien riskiarvioihin.

Sähkön hintavaihtelun ennustaminen on osoittautunut hankalaksi myös siksi, että hinta riippuu suuresti siitä, miten sähköjärjestelmä ja sähkön kuluttamisen tavat kehittyvät muissa Pohjoismaissa, Baltiassa ja Euroopassa. Esimerkiksi Kemijärvelle suunniteltu noin 500 MW:n pumppuvoimalaitos⁹⁶² voi toteutuessaan heikentää oleellisesti joko omaa tai muiden mahdollisten joustoinvestointien kannattavuutta vähentämällä tulonmuodostuksen perustana olevaa sähkön hintavaihtelua. Tammikuussa 2025 uudelleen julkiseen keskusteluun noussut Fortumin ydinvoimahanke puolestaan vaikuttaisi toteutuessaan merkittävästi ja pitkäkestoisesti muiden sähkön tuotannon ja varastoinnin investointien kannattavuuteen.

Fingridin sähkön tuotannon ja kulutuksen kehityksen arviot sisältävät huomattavia investointeja vetytalouteen jo lähivuosina.

Vetytalouden ensisijaisena edellytyksenä on vedyn kysynnän voimakas kasvu. Vedyn kysyntään puolestaan vaikuttaa oleellisesti sen hinta, joka puolestaan riippuu vedyn tuottamiseen käytettävissä olevan sähkön hinnasta.

Monet nyt keskusteluissa olevat merkittävät sähkön tuotannon, kulutuksen tai varastoinnin investoinnit sisältävät merkittäviä keskinäisriippuvuuksia ja kumuloituvia epävarmuustekijöitä. Tarve uudelle tuuli-, ydin- tai pumppuvoimalle riippuu sähkön kulutuksen kehityksestä, joka puolestaan riippuu pitkälti siitä, kuinka monena vuoden tuntina edullista sähköä on saatavilla. Tämän hetken tilanne on se, että edullisen sähkön saatavuus ei ole johtanut toivotulla tavalla sähköä kuluttavien investointien kasvuun, mikä puolestaan on johtanut sähkön tuotannon investointien heikkoon kannattavuuteen ja tuulivoimainvestointien pysähtymiseen. Myöskään uutta ydinvoimaa ei pidetä markkinaehtoisesti kannattavana.⁹⁶³

Eräs mahdollinen ratkaisu sähkön tuotannon ja kulutuksen investointien ongelmaan voisi olla valtion takaama hintaputki tai sähkön tuotanto- ja ostohinta kansantalouden tai sähkön huolto- ja

962 Pohjolan Voima 2026.

963 Lindholm & Parviala 2025.

toimitusvarmuuden kannalta kriittisiksi katsotuille investoinneille. Takuuhinnan tarkoituksena olisi taata, että sähkön tuottaja saa aina vähintään tuotantokustannuksiaan vastaavan korvauksen sähköstä. Tuki tai takuu sähkön ostohinnalle voitaisiin kohdentaa kansantalouden ja työllisyyden kannalta keskeisille tuotantolaitoksille. Lisäksi tuki-instrumenteilla voitaisiin varmistaa tuotannon ja kuluksen profilien yhteensopivuus.

Suomessa on käynnistynyt keskustelua energiaintensiivisten, halpaan sähkön hintaan perustuvien teollisuushankkeiden, kuten datakeskusten tai vedyn vientiin tähtäävän teollisuuden tuomista hyödyistä. Hyötyä voi pitää kyseenalaisena varsinkin, jos kilpailijamaista poikkeavaa edullisempaa sähkön hintaa ylläpidettäisiin merkittävillä veronmaksajien rahoittamilla kompensaatioilla.

4.3.2 Sähkömarkkinan epätasapaino Pohjoismaiden, Baltian ja Euroopan tasolla

Suomen sähkön tuotanto ja kulutus ovat vuositasolla tasapainossa, ja tuulivoiman lisääntyminen on tehnyt Suomesta jo sähkön nettoviejän. Sähköä tuodaan kuitenkin edelleen runsaasti erityisesti Pohjois-Ruotsista. Suomi toimii myös pohjoisen Ruotsin edullisen sähkön kauttakulkumaana Tukholman seudulle Ruotsiin sekä Viroon, joihin Suomen kantaverkko on kytköksissä merenalaisilla kaapeleilla.

Pohjoisen Ruotsin ja Norjan hintavyöhykkeillä sähkö on Euroopan edullisinta. Suomen aluehinta seuraa varsin tarkasti Tukholman alueen (SE3) hintaa, mutta on selvästi Baltian maita edullisempi. Sähkön kysynnän kasvu ja mahdolliset haasteet sähkön tarjonnassa Pohjoismaiden metropolialueilla ja pohjoisessa Euroopassa heijastuvat usein Suomeen ja nostavat aluehintaamme.

Heikkotuulisina ja kylminä ajankohtina Suomen tehotasapainon vaalimiseen tarvitaan **merkittävää sähkön tuontia** erityisesti Ruotsista. Pohjoisen Ruotsin (SE 1 ja 2) huomattava positiivinen tehobalanssi on toiminut koko Pohjoismaiden sähkömarkkinaa tasaavana jousto-reservinä. Alueen edullinen sähkö on kuitenkin houkutellut suuria teollisuusinvestointeja, jotka ovat kääntämässä alueen tehobalanssin jopa negatiiviseksi lähivuosien aikana. Tämä tarkoittaisi, ettei Suomeen enää riittäisi vietäväksi sähkötehoa vähätuulisina ajankohtina, vaan sähkö kuluisi Ruotsin omiin tarpeisiin.

Ruotsin kantaverkkoyhtiö Svenska kraftnät on varoittanut **sähköpolarisista** erityisesti Etelä- ja Keski-Ruotsin osalta.⁹⁶⁴

⁹⁶⁴ Svenska kraftnät 2024a.

Skenaarioissa⁹⁶⁵ Pohjoisen Ruotsin ja Suomen välisen sähkökaupan suunta kääntyy uusien teollisuusinvestointien valmistuttua siten, että Suomen roolina on pääsääntöisesti viedä tuulisähköä Ruotsin teollisuudelle. On oletettavaa, että teollisen kulutuksen huomattava kasvu nostaa sähkön keskihintaa Pohjois-Ruotsissa ja kaikkialla Pohjoismaissa. Tuulivoiman tuotannon laskiessa alle puoleen nimelliskapasiteetista voi hinta nousta hyvinkin korkeaksi, jolloin riski sähköpulatilasta on olemassa Suomessa ja monilla muilla Pohjoismaiden hintavyöhykkeillä, erityisesti kun tuulivoimatuotanto laskee alle 15 prosentin tasolle nimelliskapasiteetista koko Baltian ja Pohjoismaiden alueella. Pohjoismaiset kantaverkkoyhtiöt arvioivat Suomen tehtasapainon olevan negatiivinen jopa 25 prosentin ajan vuoden tunneista vuonna 2040.⁹⁶⁶

Voimakas ja nopea teollisuuden ja yhteiskuntien sähköistymisen haastaa sähköjärjestelmää ja sähkömarkkinoita monin tavoin. Suomen vahva tehoriippuvuus Ruotsista on riski varsinkin tilanteessa, jossa Ruotsi itse arvioi kärsivänsä pahenevasta tehovajeesta tai -puhlasta lähivuosina.

4.3.3 Joustojen tarve

Mikäli sähkön kysyntä kaksinkertaistuisi ja kulutuksen rakenne säilyisi nykyisen kaltaisena ja uutta sähköntuotantoa rakennettaisiin vain vaihtelevien uusiutuvien muodossa, olisi käytännössä kaiken lisääntyvän kulutuksen kyettävä joustamaan tuuli- ja aurinkovoiman tuotantokierroksien mukaisesti. Tällöin tarvittava kulutusjousto olisi arviolta 10–13 GW eli yli 50 prosenttia vuosittaisesta tehohuipusta.⁹⁶⁷

Sähkön kulutuksen kasvun edellyttämä sähkön tuotantokapasiteetin kasvu katetaan Fingridin arvioissa kasvattamalla tuulivoiman nimelliskapasiteetti tasolle 34 GW ja aurinkovoiman tasolle 16 GW. Mikäli teknologisen kehityksen myötä tuulivoiman kapasiteettikerroin nousisi tasolle 35 prosenttia, aurinkovoiman tasolle 20 prosenttia ja sääolosuhteet vastaisivat vertailukohtana käytettyä vuotta 2024, jäisi vuorokauden keskimääräinen vaihtelevista uusiutuvista saatava teho alle puoleen niiden yhteenlasketusta nimelliskapasiteetista keskimäärin noin 250 vuorokautena vuodessa.

Lämmityksen ja teollisuuden sähköistymisestä johtuen sähkön vuositason kulutuksen kaksinkertaistuminen voisi johtaa myös talven

965 Svenska kraftnät 2024b.

966 Energinet ym. 2021.

967 Koivunen & Syri 2024.

aikaisen kesikulutuksen tason kaksinkertaistumiseen tasolle 24 GW. Välillä marraskuu–maaliskuu (4 kk) aurinkovoimaa ei käytännössä ole käytettävissä, ja kaikki sähkönkulutus on katettava silloin 34 GW tuulivoiman nimelliskapasiteetilla sekä vanhalla, jatkuvasti käytettävissä olevalla ja säätyvällä noin 11 GW kapasiteetilla.

Vuoden 2035 kylmän ja vähätuulisen ajankohdan asettamia haasteita sähkön riittävyydelle voidaan havainnollistaa esimerkiksi, jossa ”vanhan” sähkönkulutuksen kulutusjousto olisi nykytilannetta vastaavasti noin 5 prosenttia ja vuoden 2025 jälkeen lisätyn ”uuden” kulutuksen jousto olisi 50 prosenttia tilanteissa, joissa tuulivoimateho laskee alle puoleen nimelliskapasiteetista (noin 65 prosenttia tunneista). Näin talvikauden keskimääräinen tehontarve laskisi vähätuulisissa oloissa tasolle 18 MW. Mikäli ydin- ja vesivoimaa sekä säädettävää polttamiseen perustuvaa kapasiteettia olisi tarjolla nykytilannetta vastaavat noin 11 GW, olisi kaikissa niissä tilanteissa, joissa tuulivoiman tuotanto laskee alle 6 GW:n tasolle, turvauduttava **sähkön tuontiin tai sähkövarastoihin**.

Tuulivoimateho voi laskea sattumanvaraisina ajankohtina tasolle 0–5 prosenttia nimelliskapasiteetista eli tasolle 0–1,7 MW (noin 10 prosenttia vuoden tunneista). Tällöin tehotasapainon ylläpitämiseksi vaadittaisiin 6 000 MW säätyvää sähkön tuotantotehoa, rajasiirtokapasiteettia, tai sähköenergiavarastoja. Suomi voi tuoda naapurimaistaan Aurora 1 -linjan valmistuttua sähköä maksimissaan noin 4 200 MW:n teholla ja vuonna 2030 valmistuvan Aurora 2 -linjan valmistuttua noin 5 000 MW:n teholla. Akkuvastojen ja muiden teknisten joustojen yhteenlaskettu teho nousee todennäköisesti tasolle, joka riittää kattamaan puuttuvat 1 000–1 800 MW joidenkin tuntien ajan. **Tehopula** uhkaisi, mikäli tuuleton jakso jatkuisi pidempään tai Ruotsin kyky toimittaa sähköä Suomeen rajoittuisi.

Suomen sähköjärjestelmän **erityispiirteenä** on markkinaehtoisen sähköntuotannon huippu- ja varakapasiteetin niukkuus ja toisaalta kattava varautuminen poikkeus- ja kriisitilanteisiin muun muassa sähkökatkoja kierrättämällä. Nykyinen markkinakehitys on johtamassa tilanteeseen, jossa sähkön tehopulan ja kiertävien sähkökatkojen todennäköisyys kasvaa vähitellen, jollei markkinoilla investoida merkittävästi uuteen sähkön pitkäaikaiseen varastointikapasiteettiin, kysyntäjoustoön tai säätökykyiseen sähköntuotantoon. Tilanne, jossa markkinaehtoinen kapasiteetti ei riitä ja joudutaan turvautumaan esimerkiksi sähkönkäytön irtikytkentöihin, on kuitenkin huolta herättävä signaali esimerkiksi isojen teollisuustoimijoiden näkökulmasta ja voi heikentää kuvaa Suomesta investointiympäristönä.

4.3.4 Joustojen kustannukset

4.3.4.1 Energiajärjestelmän joustot (Front-of-the-meter)

Fingridin arvion mukaan Suomeen tarvitaan vuonna 2035 noin 10 GW:n joustokapasiteetti. Kuten yllä on esitetty, olisi joustoratkaisuilla vastattava jopa useamman vuorokauden mittaiseen vähätuuliseen jaksoon, jonka aikana vaihtelevista uusiutuvista saatava yhteenlaskettu keskimääräinen teho jää alle 10 prosenttiin nimelliskapasiteetista. Joustokapasiteetin tulisi kattaa yhtäjaksoisesti minimissään 100–200 GWh:n sähköenergian tarve, ja joustavan kapasiteetin käyttö vuositasolla olisi luokkaa 20 TWh.

Energiavarastojen käyttökustannukset (LCOS) ovat viime vuosina tippuneet ja ovat tällä hetkellä halvimmillaan tasolla 130 €/MWh (55 €/kW/vuosi). Hinta sisältää varaston käyttökustannukset, mutta ei lataamisen käytetyn energian tuotantohintaa.

Mikäli sähköenergiavarastojen käyttökustannukset ja niiden lataamiseen käytetty energia eli **tasoitettu energian kustannus** (LCOE) puolittuisivat nykytasolta vuoteen 2035 mennessä, olisi keskimääräinen varastosta puretun sähkön kokonaishinta luokkaa 95 €/MWh. Kyseisen hinnan toteutumisen edellytyksenä olisi, että sekä energian tuotanto että varastojen käyttö ja investoinneista saatava tuotto jakautuisivat optimaalisesti ja kaikelle kapasiteetille olisi kysyntää. Mikäli lataamisen käytetyn energian tai varastojen kapasiteetti olisi kesällä vajaakäytöllä, nousisi vastaavasti tuottovaatimus tuotetulta energialta talviajalla jopa kaksinkertaiseksi.

Joustoinvestointien kannattavuus riippuu riittävän suuresta ja pitkään jatkuvasta sähkön vuorokausitason **hintavaihtelusta**. Mikäli riittävän hintavaihtelun jatkumiseen liittyy investoinnin takaisinmaksuajalla merkittäviä epävarmuuksia, tarvitaan joustoinvestointien toteutumiseksi merkittäviä julkisen sektorin kompensatioita ja riskinkantoa. Merkittävien sähkövarastoinvestointien toteutumisen edellytyksenä voikin pitää vähintään 100 €/MWh:n takuuhintaa varastosta puretulle sähkölle.

Kiinteistöjen lämmitys tarjoaa merkittäviä kustannustehokkaita joustomahdollisuuksia. Kaukolämpöjärjestelmien **sähkökattilat ja lämpöpumput** yleistyvät nopeasti, ja niiden yhteenlasketun kapasiteetin arvioidaan lähestyvän 2000 MW:n tasoa vuoden 2027 loppuun mennessä. Lisäksi kiinteistökohtaisissa lämmitysjärjestelmissä (lattia-lämmitys ja lämminvesivaraajat) on lyhytaikaista joustopotentiaalia arviolta 2000 MW:n edestä.

Sähkön hinnan mukaan säätyvät sähkökattilat ja lämpöpumput luovat kysyntää tuulisähkölle ja hidastavat siten tuulivoiman kannibalisaatiosta johtuvaa kannattavuuden (*capture rate*) heikkenemistä. Näillä näkymin ne eivät kuitenkaan riitä palauttamaan tuulisähkön-vestointien kannattavuutta.

Vaihtelevien uusiutuvien tuotannon ollessa alhaalla ei sähkökattiloista tai lämpöpumpuista ole hyötyä ilman merkittävää lämpöenergian varastointikapasiteettia. **Lämpövarastojen kasvu** on kuitenkin ollut verrattain hidasta huolimatta siitä, että erityisesti kaukolämpövarastojen on arvioitu olevan ylivoimaisesti edullisin energian varastoinnin muoto noin 15–40 €/MWh:n LCOS-kustannuksellaan. Lämmitysjärjestelmien joustomahdollisuuksia rajoittaa lämmön kysyntä, joka vaihtelee valtakunnallisesti 500–10 000 MW:n välillä sääolojen mukaan. Erityisesti kiinteistökohtaisten ilmalämpöpumppujen yleistymisen nostaa sähkön tarvetta erityisen kylmillä keleillä lämpöpumppujen korvautuessa suorasähkölämmityksellä. **Sähkötehon riittävyttä** ajatellen olisi tärkeää huolehtia siitä, että lämmitysjärjestelmien sähköistämiseen kytkettäisiin vaatimus riittävästä (vuorokausitason) varastointikapasiteetista.

4.3.4.2 Kulutuksen joustot (Behind-the-meter)

Teollisuuden ja yritysten osuus kaikesta sähkön käytöstä on noin 75 prosenttia. Teollisuusyritysten edustajien kanssa käytyjen keskustelujen perusteella arvioimme, että teollisuus voi keskimäärin joustaa kulutuksessaan 5–10 prosenttia maksimissaan noin tunnin ajan kovimpien hintapiikkien aikana ilman, että siitä aiheutuu merkittäviä kustannuksia.

Energiaintensiivisen teollisuuden (esim. prosessiteollisuus ja data-keskukset) vuoden aikana syntyvän tuotannon määrä ja tuotannon arvo riippuu keskeisesti tuotantokapasiteetin käyttötuntien määrästä. Jos tuotanto joustaisi vaihtelevien uusiutuvien tuotannon mukaan 50–100 prosenttia 315 päivän aikana vuodessa, vaikuttaisi tämä väistämättä keskeisesti konekannan ja henkilöstön käyttöasteeseen ja tuotantopanoksista saatavaan tuotokseen.

Prosessiteollisuuden (esim. terästehtaat) kohdalla tuotantoprosessien sopeuttaminen vaihtelevien uusiutuvien tuotantorytmiin on vielä merkittävästi haastavampaa ja kalliimpaa kuin datakeskuksissa. Prosessien ylläpito, henkilöstön työajat ja toimitusaikataulut eivät mahdollista prosessien sulkemista, ja joustot rajoittuvat arviolta 10 prosentin tasolle huippukulutuksesta maksimissaan 1–2 tunnin ajaksi.

Fingridin arvioissa merkittävä osa joustoista toteutettaisiin vedyn valmistuksessa. Vedyn teollisen kysynnän kehitykseen liittyy kuitenkin merkittäviä epävarmuuksia. Vetyperusteisten energia- ja varastojen kustannuksia voidaan arvioida seuraavasti: 1 MWh sähköä vetyvarastosta tuotettuna vaatii noin 3 MWh sähköenergiaa, elektrolyysilaitoksen, vetyvaraston ja sähköä tuottavan turbiinin tai moottorivoimalaitoksen. Mikäli tuulienergian tuotantokustannukset olisivat 35 €/MWh, olisi varastosta purettavan sähkönn hinnan oltava vähintään 130 €/MWh, jotta tuotanto olisi kannattavaa.

4.3.4.3 Sähköautojen akustot

Mikäli Suomessa olisi vuonna 2035 miljoona sähköautoa, joista voitaisiin joustotarkoituksiin hyödyntää esimerkiksi 50 kWh akkukapasiteettia, ja minimissään 20 prosenttia tästä kapasiteetista olisi käytettävissä kaikkina ajanhetkinä, olisi autojen akustojen yhteenlaskettu energiavarastosta saatava teho luokkaa 700–1 000 MW ja varaston koko luokkaa 10 GWh. Autojen akkujen hyödyntäminen energiasysteemin tasapainottamiseen tuottaisi kuitenkin merkittäviä kustannuksia, kun huomioidaan muun muassa auton ostohinta ja akuston osuus siinä. Tällä hetkellä ei ole vielä selviä käytänteitä siitä, miten akuston käyttäminen muuhun kuin ajamiseen vaikuttaa akkutakuuseen. Yleisellä tasolla voidaan arvioida, että yhden latauskerran tuottama arvonalenema sähköautolle on auton hankintahinnasta ja laskutavasta riippuen luokkaa 10–30 € ja vastaava sähkömarkkinoille tarjottavan sähkönn vaihtoehtoiskustannus luokkaa 150–450 €/MWh.

4.3.4.4 Kulutustottumukset

Voimakas sähkönn hintavaihtelu on jo vaikuttanut kotitalouksien sähkönn käytön tapoihin. Paljon energiaa kuluttavia toimintoja voidaan siirtää kalliilta tunneilta edullisille tunneille vuorokauden sisällä tai maksimissaan seuraavaan päivään. Pitemmällä kalliin hinnan jaksolla joustomahdollisuudet lämmityksestä ja liikkumisesta kuitenkin kapenevat oleellisesti. Kotitalouksien kysyntäjouston vaikutus sähkönn kokonaiskulutukseen ja kulutuspiikkien hillitsemiseen on rajallinen, arviolta alle 10 prosenttia. Merkittävän joustokapasiteetin toteuttaminen kotitalouksiin esimerkiksi vesivaraajien ja akustojen muodossa tulee todennäköisesti huomattavan kalliiksi. Lisäksi riskinä on varastojen tekniset ongelmat ja epäoptimaalinen käyttö.

Ottaen huomioon tarvittavien joustojen mittakaavan ja niiden aiheuttamat kustannukset sähkönn käyttäjille olisi joustojen toteuttaminen luontevinta tehdä järjestelmätasolla (in front of the meter).

Teollisuuden prosesseissa, yrityksissä tai kotitalouksissa joustojen kokoluokaltaan ja kestoaltaan merkittävien joustojen kustannukset ovat huomattavan suuria.

4.3.5 Pitkä kylmä ja vähätuulinen jakso

Talven kulutushuipun aikana vähäisen tuulivoiman (alle 20 prosenttia nimelliskapasiteetista) tuotannon jaksojen kesto on yleisimmin luokkaa 1–2 vuorokautta, mutta voi jatkua jopa kaksi viikkoa. Vähäisen tuulituotannon jaksoja on kuukaudessa yleensä useita. Vastaavasti akkupohjaisten sähköenergiavarastojen kapasiteetti on yleisesti 1–4 tunnin välillä, ja suurin osa muustakin kulutusjoustokapasiteetista rajoittuu maksimissaan noin kymmeneen tuntiin. Kaukolämpöjärjestelmissä on käytössä isompia lämpövarastoja, jotka voivat kattaa osan lämmitykseen tarvittavasta sähkötehosta 1–2 vuorokauden ajan. Lisäksi suunnitteilla on pumppuvoimavarastoja, joista saadaan sähköä 3–12 tunnin ajan.

Suhteutettaessa Fingridin ennusteessa kuvattua vuoden 2035 tilannetta pitempään vähätuuliseen kylmään jaksoon on syytä huomioida, ettei vaadittavaa kulutusjoustoja (50–100 prosenttia kaikesta lisäisestä kulutuksesta / 6–12 GW teho) voida ratkaista pelkästään energiavarastoilla, koska käytettävissä oleva tuulivoimateho riittää varastojen lataamiseen ainoastaan jäljelle jääneen 50 prosentin kiinteän kulutusosuuden sähkön saantia turvaavien varastojen osalta. Lisäksi sähkön huippukulutus voi erityisen kylminä pakkajaksoina nousta nykyisellään tasolle 15 GW eli 3 000 MW tavanomaista talven kulutusjaksoa korkeammaksi. Jatkossakin merkittävä osa sähkön kulutuksen kasvusta kohdistuu lämmitykseen ja sähköautoihin sekä muihin kohteisiin, joissa kulutus voi nousta kylmissä olosuhteissa. Näin ollen sähkön hetkellinen huippukulutus voi uuden kulutuksen joustokyvyn huomioidenkin Suomessa olla vuonna 2035 yli 25 GW.

Sähkötehon riittävyttä arvioineissa selvityksissä⁹⁶⁸ on todettu, että tehovajeen estäminen vaatisi joustavan sähköntuotannon kapasiteetin lisäämistä. Mikäli sähkön kulutus kasvaisi Fingridin ennakoimalla tasolla tai edes osittain sitä vastaavasti, olisi joustavaa kapasiteettia liisättävä merkittävästi enemmän kuin 2010-luvulla on ennakoitu.

Kaikkina ajanhetkinä käytettävissä oleva sähkön tuotannon, tuonnin tai varastoinnin kapasiteetti ei todennäköisesti riittäisi kattaamaan yli 12 tunnin mittaista vähätuulista huippukulutuksen jaksoa, ja sähkön saannin turvaamiseksi tarvittaisiin arviolta 2 000–3 000 MW

968 Esim. Ruohonen & Passi 2014.

uutta, polttamiseen perustuvaa säätyvää sähkön (ja lämmön) tuotannon kapasiteettia tai jatkuvasti käytettävissä olevaa ydinvoimaa.

4.4 Sähköjärjestelmän tai siirtoyhteyksien häiriötilanteet

Suomen sähköjärjestelmässä on nykytilanteessa perinteisesti varauduttu kahden suurimman tuotantoyksikön tai siirtoyhteyden samanaikaiseen yllättävään vikaantumiseen tai saman kokoluokan muuhun sähkön saatavuuden häiriöön. Kahden isoimman kohteen, kuten Olkiluoto 3 ja Aurora-siirtolinjan, samanaikainen vikaantuminen tarkoittaisi pahimmillaan, että sähkötehoa olisi käytettävissä noin 2400 MW normaalitilannetta vähemmän. Mikäli vikatilanne sattuisi vähätuuliseen sähkön kulutushuippuajankohtaan, ei sähkön saatavuutta pystyittäisi turvaamaan markkinaehtoisesti, vaan kulutusta jouduttaisiin vähentämään Fingridin ohjaamana tai jopa kiertävillä sähkökatkoilla.

Vaihtelevan uusiutuvan osuuden nopea kasvu sähköntuotannossa haastaa entisestään sähkötehon riittävyttä sekä normaalitilanteessa että mahdollisissa häiriötilanteissa. **Kyky ylläpitää normaalia sähkömarkkinatilannetta kapenee**, ja riski sähköpulatilanteelle ja tehoreservien käyttönotolle kasvaa. Suomen tehotasapaino on kulutushuipputilanteissa voimakkaan negatiivinen jo nykytilanteessa, ja negatiivinen balanssi kasvaa merkittävästi tulevaisuudessa. Kuten selvityksen aiemmissa osioissa on todettu, normaali sähkömarkkinoiden kysynnän ja tarjonnan tasapaino edellyttää Suomelta merkittäviä lisäinvestointeja ratkaisuihin, jotka varmistavat sähkön saatavuutta vähätuulisina ajankohtina. Erilaisiin vika- ja poikkeustilanteisiin vastaaminen edellyttää myös markkinoiden ulkopuolisen tehoreservin vahvistamista.

Sähkötehon lisäksi Suomi on riippuvainen toimivista rajat ylittävistä ja valtakunnan sisäisistä **siirtoyhteyksistä**. Käytännössä rajasiirtoyhteyksien, kantaverkon ja alueverkkojen kaasuputkien täydellinen suojaaminen vahingoilta tai vaikuttamisyryksiltä ei ole mahdollista. Tästä syystä onkin oleellista vahvistaa yhteiskunnan kannalta kriittisen tuotannon ja palveluiden toimintakykyä myös mahdollisessa sähkönjakelun suurhäiriötilanteessa. Muun muassa taajuudenhallintaan liittyvistä syistä Suomen eri alueiden sähköverkkoja ei todennäköisesti pystyittäisi ”käynnistämään” saarekkeina valtakunnallisessa sähköverkon suurhäiriötilanteessa. Rovaniemellä

tehty harjoitus alueen ”käynnistämisestä” vesivoiman avulla irrallaan valtakunnan verkosta epäonnistui, ja muiden Suomen alueiden mahdollisuudet saareketoimintaan ovat todennäköisesti vielä heikommät.

Vallitsevassa turvallisuuspoliittisessa tilanteessa ei voida sulkea pois mahdollisuutta valtakunnallisen sähkönjakelun tahallisiin tai tahattomiin **suurhäiriötilanteisiin**. Ottaen huomioon sähkönsäätökeskeisen roolin yhteiskunnan perustarpeena olisi erityisesti kriittisen tuotannon toimintakykyä turvaavan saarekekäytön mahdollistaminen erittäin tärkeää. Esimerkiksi Ukrainassa sähkönjakelua on alueellisissa saarekkeissa pystytty jatkamaan sekä siviiliväestölle että puolustusvoimille, vaikka merkittävä osa valtakunnallisesta sähköinfrastruktuurista onkin tuhottu.

4.4.1 Sähköjärjestelmän nopea muutos

Pohjoismaiset sähköverkkoyhtiöt ovat arvioineet vaihtelevien uusiutuvien osuuden nopean kasvun aiheuttavan merkittäviä haasteita erityisesti sähköjärjestelmän **taajuuden hallinnalle**.⁹⁶⁹ Sähkölaitteet ovat herkkiä taajuuden muutoksille, ja siksi kyky tasaisen taajuuden ylläpitoon on keskeinen sähköjärjestelmän laatu- ja toimitusvarmuustekijä. Verkon taajuutta ovat perinteisesti ylläpitäneet isojen turbiinien ja generaattoreiden ja sähkövoimaa käyttävien koneiden suurella nopeudella pyörivät massat. Massojen liikkeeseen sisältyvä mekaaninen hitausvoima, inertia, antaa häiriötilanteessa aikaa käynnistää taajuudenpalautuksen markkinaehtoista kapasiteettia tai varajärjestelmiä taikka tarvittaessa kytkeä irti kulutusta.

Tuuli- ja aurinkovoima kytketään sähköjärjestelmään taajuusmuuttajan kautta, eivätkä nämä tuotantomuodot siten tuota taajuuden ylläpitoon tarvittavaa **mekaanista inertiaa**. Taajuusmuuntajat tahdistavat tuotannon verkon taajuuteen, ja kehittyneimmät muuntajat pystyvät tuottamaan järjestelmään keinotekoisia, ns. emuloitua inertiaa. Sähköverkon taajuuden muutosten ja ylläpidon reaaliaikainen mallinnus ja tuotannon sopeuttaminen optimaalisesti taajuuden muutoksiin on kuitenkin erittäin hankala tehtävä, eikä markkinoilla ole vielä saatavilla järjestelmiä, jotka varmuudella pystyisivät ylläpitämään taajuutta vaihtelevan uusiutuvan tuotannon lisääntymistä vastaavassa mittakaavassa. Liian nopea vaihtelevan uusiutuvan osuuden lisääntyminen ja liiallinen luottamus keinotekoiseen inertiaan altistaa järjestelmää laajamittaisille riskeille. Lisäksi monimutkaisuuteen algoritmeihin ja vaativaan suurteholaskentaan perustuva

969 Svenska kraftnät 2024c.

keinotekoinen inerttia tuottaa haavoittuvuuksia esimerkiksi kybervai-
kuttamisen osalta.

Pohjoismaiden sähköverkkoyhtiöt ovat peräänkuuluttaneet mekaanista inertiaa tuottavan kapasiteetin, kuten CHP-laitosten yllä-
pitämistä sekä esimerkiksi vesivoiman inertiaa tuottavan kapasiteetin
lisäämistä ainakin siihen asti, kunnes emuloidun inertian käyttövar-
muudesta on saatu laajassa mittakaavassa riittävästi näyttöä.⁹⁷⁰

4.4.2 Muita vaihtelevien uusiutuvien tuotantomuotojen huolto- ja toimitusvarmuustekijöitä

Tuuli- ja aurinkovoimaa on rakennettu Suomeen useiden kymmenien
eri yhtiöiden toimesta. Teknologia-toimittajia, alihankkijoita, urakoitsi-
joita, huoltotoimijoita ja operaattoreita/kontrollereita on useita satoja.
Lisäksi yksittäisten voimaloiden tai puistojen omistus voi olla laajalle
hajautettua. Merkittävimpiä tuulivoimalatoimittajia ovat Vestas, Nor-
dex, General Electric ja Siemens-Gamesa. Tuulivoimalatoimituksiin
sisältyy komponentteja suurelta määrältä yrityksiä, ja alihankintaket-
juihin voi liittyä haavoittuvuuksia. Tuulivoimateknologian tuotanto
on kärsinyt alan voimakkaista suhdannevaihteluista ja ajoittain myös
heikosta kannattavuudesta. Tuulivoiman huolto- ja toimitusvarmuutta
ajatellen voikin olla syytä varautua **toimitusketjujen katkoksiin** tai jopa
voimalavalmistajien tai teknologia-toimittajien konkurssiin. Myös
tuulivoimahankkeiden omistajanvaihdokset voivat altistaa riskeille.

Tuuli- tai aurinkovoiman tuottajilla ei ole perinteistä sähkön-
tuotantoa vastaavia vastuita energian **huolto- ja toimitusvarmuuteen**
liittyen. Onkin tärkeää huomioida huolto- ja toimitusvarmuus-
vaatimuksia koskevat eroavaisuudet esimerkiksi perinteisen
kaukolämpö-CHP-tuotannon ja tuuli- tai aurinkosähkö-kiinteistö-
lämpöpumppu-toimitusketjun välillä. Edelliseen toimitusketjuun
kuuluu lukuisia toimitusvarmuutta ja poikkeustilanteisiin varautu-
mista tukevia velvoitteita ja toimintamalleja, kun taas jälkimmäiseen
ei kuulu käytännössä lainkaan toimitus- ja huoltovarmuutta varmis-
tavia elementtejä. Lämmitysratkaisua valitseva yritys tai kansalainen
ei aina tule ajatelleeksi sitä, kuka on viime kädessä vastuussa energian
toimitus- ja huoltovarmuudesta. Eri teknologioita koskevat erilaiset
huolto- ja toimitusvarmuusveloitteet voivat myös vääristää eri ener-
giamuotojen välistä kilpailua.

Tuulivoimaan samoin kuin muuhunkin energiantuotantoon
liittyy nykyisessä turvallisuusympäristössä myös riski tahallisesta

970 Statnett ym. 2016.

fyysisestä **sabotaasista tai kyberhyökkäyksistä**. Tuulivoimaloiden fyysiseen ja digitaaliseen suojaamiseen tuleekin kiinnittää huomiota. Vaihtelevien uusiutuvien osuuden nopea kasvu lisää taajuusmuuttajien ja emuloidun inertian käyttöä ja muuta riippuvuutta tietoteknologiasta. Järjestelmän ja sen ohjauksen kasvava kompleksisuus voi tuottaa riskejä myös toimitus- ja huoltovarmuuden näkökulmasta. Pitkät, kiinteät sähkön ja kaasujen siirtoyhteydet ovat energijärjestelmän haavoittuvin kohta niin sääilmiöiden kuin sotilaallisten uhkien näkökulmasta. Lisäksi tuotannon ja kulutuksen epäoptimaalinen sijoittelu voi johtaa siirtoinfran kustannusten merkittävään nousuun.

Sähköntuotannon hajauttaminen laajasti eri puolille maata voi kuitenkin myös tukea energian toimitus- ja huoltovarmuutta sekä energijärjestelmän kriisinkestävyttä. Satojen erillisten tuuli- ja aurinkopuistojen ja niissä sijaitsevien tuhansien energiantuotannon yksiköiden samanaikainen lamauttaminen on lähes mahdotonta sabotaasilla tai laajamittaisellakaan sotilaallisessa hyökkäyksellä. Tuulipuistoissa herkkiä kohtia ovat sähköasemat ja siirtoyhteydet, joiden suojaamiseen tulisi kiinnittää huomioita.

4.5 Lämpö

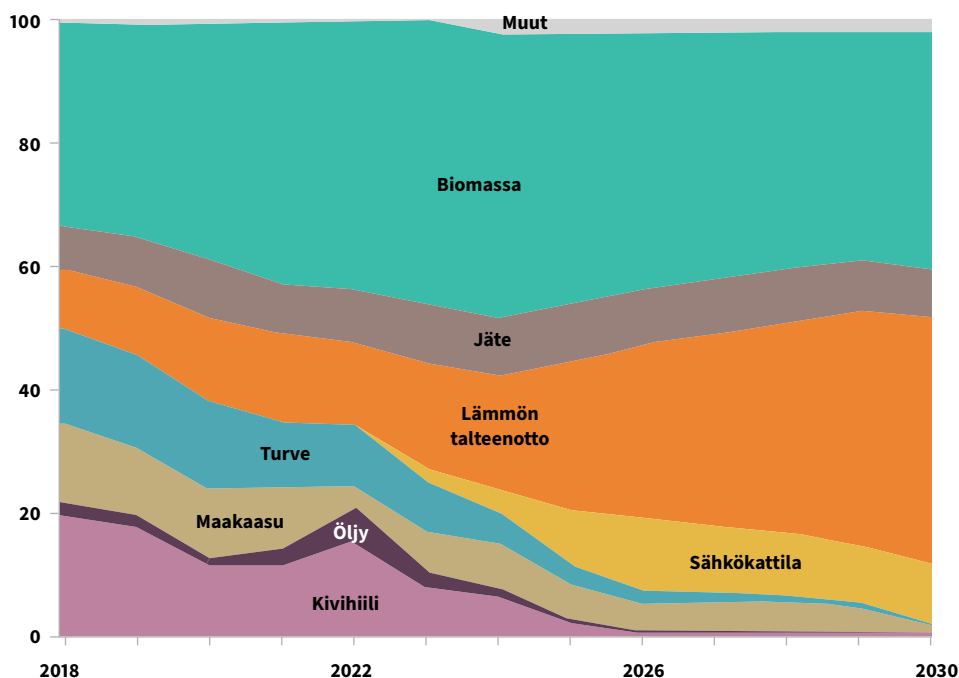
Lämpömarkkinoilla tarkoitetaan tässä selvityksessä lähinnä kaukolämpömarkkinoita. Tässä luvussa tarkastellaan kaukolämmön tuotantoon, jakeluun ja kulutukseen liittyviä muutostrendejä, joilla on vaikutuksia lämmön toimitus- ja huoltovarmuuteen.

4.5.1 Kaukolämmön tuotannon muutos

Alla olevassa kuvassa on esitetty Energiateollisuus ry:n keväällä 2024 omille jäsenyhtiöilleen tekemän kyselyn mukainen kehitysennuste kaukolämmön hankinnan energialähteiden muutoksesta.⁹⁷¹ Kaukolämpöyhtiöiden oman ennusteen mukaan **hukkalämmön talteenotto ja sähköistyvä kaukolämmön tuotanto** kasvavat merkittävästi vuoteen 2030 mennessä. Samalla kivihiilen ja turpeen käyttö käytännöllisesti katsoen loppuu, ja maakaasunkin käyttö vähenee lähes olemattomiin. Jätteenpoltto ja biomassan poltto säilyvät suurin piirtein vuosien 2023 ja 2024 tasolla, vaikka biomassan käytössä onkin nähtävissä hieman laskeva trendi. Todennäköisesti jätteenpoltto tulee olemaan viimeinen

971 Energiateollisuus 2024.

Kaukolämmön hankinnan energialähteet 2018–2023 ja ennuste 2024–2030



polttamalla tuotetun lämmön lähde, kun muu polttaminen painuu marginaaliseksi todennäköisesti 2040-luvulla.

Kuva 15. Kauko-
lämmön hankinnan
energalähteet 2018-
2030E.

4.5.2 Lämmön varastointikapasiteetin kasvu

Kaukolämpöyhtiöt eivät tyypillisesti pysty suoraan kontrolloimaan teolliselta kumppaniltaan saamansa hukkalämmön hetkellistä volyymiä tai sähkömarkkinoiden hintakehitystä. Näin ollen kaukolämpöyhtiöt joutuvat puskuroimaan lämmön saantia rakentamalla **lämpövarastoja**. Lämpövarastot ovat tyypillisesti suuria eristettyjä terässäiliöitä täynnä kaukolämpövettä. Joissain kaupungeissa on kuitenkin otettu käyttöön vanhoja öljyn huoltovarmuusvarasto-luolia, jotka on täytetty kaukolämpövedellä. Lämpövarasto voi olla myös maan alle rakennettu lämpökaivoista koostuva kenttä, jonka purkamiseen tarvitaan yleensä lämpöpumppu varastoidun lämmön lämpötilan nostamiseksi tarvittavalle tasolle.

Suuret lämpövarastot ovat lämmön toimitusvarmuuden kannalta suotuisia, koska niiden avulla lämpöä voidaan toimit-

taa merkittävässäkin poikkeustilanteissa vähintään tuntien ajan asiakkaille antaen lisääikaa **lämmöntuotannon varakapasiteetin** käynnistämiseen. Suurilla lämmön kausivarastoilla on merkitystä myös lämmön huoltovarmuuden kannalta, koska ne sisältävät tyypillisesti viikon tai jopa useiden viikkojen kaukolämpöverkossa tarvittavan energiamäärän verran lämpöenergiaa, jota voidaan poikkeustilanteissa purkaa verkkoon, jos esimerkiksi polttoaineita täytyy säännöstellä. Viimeisen kymmenen vuoden aikana Suomen kaukolämpöverkkoihin kytkettyjen lämpövarastojen yhteistilavuus ja yhteispurkuteho ovat kasvaneet merkittävästi.⁹⁷²

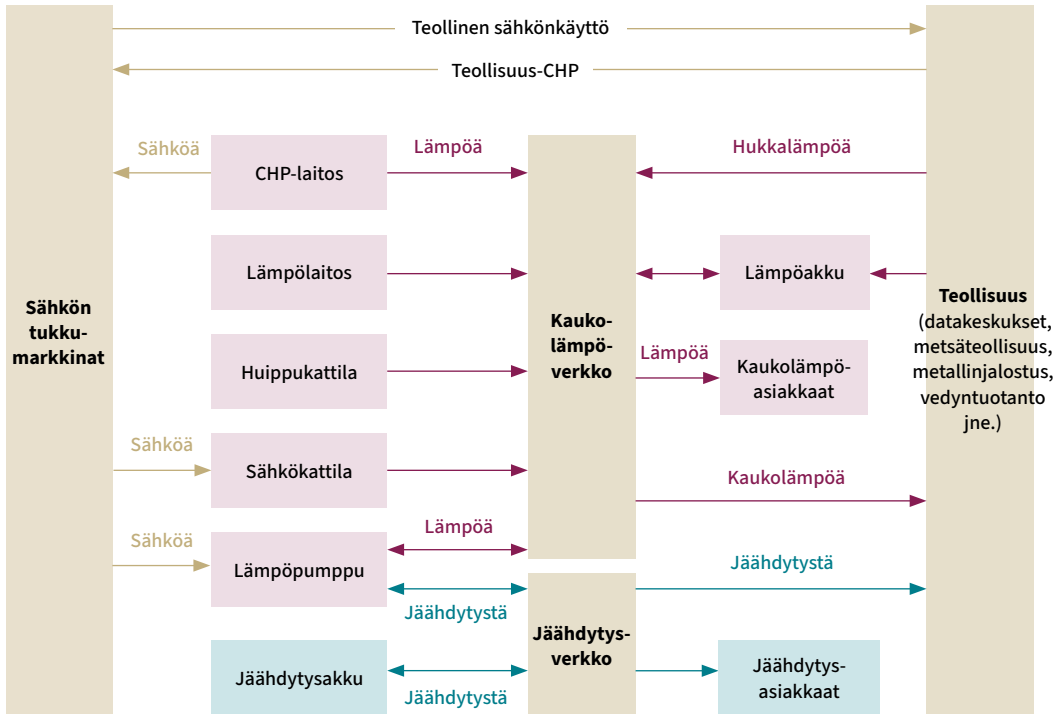
4.5.3 Kaukolämpöjärjestelmien monimutkaistuminen

Alla olevaan kuvaan on hahmoteltu kuvitteellinen **kaukolämpö-yhtiö**. Kaaviokuvan vasemmassa laidassa on sähköverkko tai sähkön tukkumarkkinat, keskellä on kaukolämpöverkko ja jäähdytysverkko ja oikeassa laidassa on teollisuuslaitokset, joiden prosesseihin energiaverkot kytkeytyvät. Kaukolämpöyhtiö kytkeytyy sähkön tukkumarkkinoihin tuottamalla sähköä CHP-laitoksella sekä kuluttamalla sähköä lämpöpumpuissa ja sähkökattiloissa. Lämpöpumpuilla tuotetaan paitsi lämpöä, myös jäähdytystä jäähdytysverkkoon. Kaukolämpöyhtiö kytkeytyy teollisuusprosesseihin paitsi myymällä kaukolämpö- ja jäähdytysverkkoihin kytkeytyneelle teollisuudelle lämpöä tai jäähdytystä, myös ostamalla teollisuuden hukkalämpöä. Näin ollen kaukolämpöyhtiö on riippuvainen sähkön hinnasta tukkumarkkinoilla ja hukkalämmön saannista teollisuusprosesseista, jotka puolestaan ovat riippuvaisia sähkömarkkinoista, polttoainemarkkinoista, omien asiakkaidensa kysynnästä, yleisestä korkotasosta sekä monista muista asioista. Tyypillisiä hukkalämpöä tuottavia teollisuusprosesseja ovat tällä hetkellä teollisuusunit, muut lämpöä käyttävät teollisuusprosessit sekä jäähdytyslaitteet. Perinteisen teollisuuden rinnalle merkittäväksi hukkalämpöjen lähteeksi ovat jo nousseet datakeskukset, ja tulevaisuudessa merkitystään nostaa ehkä vedyn ja muiden kaasujen tuotanto.

Kun kaukolämpöyhtiö kytkeytyy paitsi lämmön myynnin, myös lämmön tuotannon osalta ulkopuolisiin prosesseihin, joutuu se hajauttamaan lämmöntuotantoportfoliotaan ja rakentamaan lämpövarastoja suojautuakseen moninaisilta markkinamuutoksilta. Tämä lisää merkittävästi monimutkaisuutta kaukolämpöjärjestelmiin ja johtaa ajan myötä siihen, että **järjestelmän toiminnan ohjaaminen**

972 Energiateollisuus 2024.

Kuvitteellisen kaukolämpöverkon energiavirrat eri verkkojen/markkinoiden välillä



optimaalisesti onnistuu ainoastaan tekoälyn avulla. Tämä kuitenkin edellyttää, että kaukolämpöjärjestelmästä (tuotannosta, jakelusta ja kulutuksesta) on riittävästi reaaliaikaista dataa saatavilla ja että tekoälyllä on kyky ohjata lämmönlähteitä, kaukolämpöverkkoa ja jopa asiakkaiden lämmönkulutusta. Vain näin voidaan koko kaukolämpöjärjestelmän tehokkuutta optimoida jatkuvasti samalla, kun tekoäly ennustaa lähiajan lämmöntarvetta reaaliajassa.

Paras tapa optimointikyvykkyuden rakentamiseen on rakentaa kaukolämpöverkosta **digitaalinen kaksonen**. Digitaalinen kaksonen on reaaliaikainen digitaalinen malli, tässä tapauksessa kaukolämpöverkosta. Malli näyttää tyypillisesti kaukolämpöverkon karttapohjalta, ja siitä voi tarkastella verkon lämpötiloja, virtauksia, paineita ja muita suureita reaaliaikaisesti. Malli suosittelee myös jatkuvasti, mistä lähteistä lämpö verkkoon kannattaa syöttää milläkin teholla ja missä lämpötilassa. Se voi antaa jatkuvia suosituksia kaukolämmön tuottamis- ja jakelutavasta huomioiden muun muassa sähkömarkkinoiden tilanteen, polttoaineiden hinnat ja lämpövarastojen täyttöasteen.

Kuva 16. Kaavio-kuva kuvitteellisen kaukolämpöverkon energiavirroista eri verkkojen/markkinoiden välillä.

Digitaalisia kaksosia ovat Suomessa kaukolämpöverkoissaan ottaneet tähän mennessä käyttöön Vatajankoski, Porvoon Energia ja Helen. Odotettavissa on, että digikaksosten määrä tulee kasvamaan tulevaisuudessa merkittävästi. Muutos lisää toimitusvarmuutta parantamalla kaukolämpöjärjestelmien energia- ja kustannustehokkuutta. Toisaalta digitaalisuuden kasvu saattaa lisätä riskejä kybervaikutuksille, virhekoodille ja muille ennakoimattomille häiriötilanteille. Näiden vaikutusta kuitenkin lieventää se, että ainakin toistaiseksi kaukolämpöverkkoihin kytkeytyy niin paljon polttamiseen perustuvaa ja ihmisten ohjaamaa varalämmöntuotantokapasiteettia, että koko verkon lämmöntarve voidaan hoitaa poikkeustilanteessa myös näillä laitoksilla.

4.5.4 Sääntely-ympäristön epävarmuus

Kaukolämmön tuotannossa käytettyjen puupolttoaineiden hinnat ovat nousseet yhteensä karkeasti 100 prosenttia vuosina 2022–2024. Tämän lisäksi puupolttoainejakeiden, kuten metsähakkeen uusiutuvaksi luokitteluun liittyy pitkällä aikavälillä epävarmuutta. Turpeen saatavuus on puolestaan heikkenemässä nopeasti turpeentuottajien lopettaessa toimintaansa heikon tulevaisuudennäkymän vuoksi. Jätteenpolttolaitokset taas tulevat päästökaupan piiriin vuonna 2028, mikä lisää jätteenpolton kustannuksiin liittyvää epävarmuutta. Päästöoikeuden hinta nimittäin vaihtelee voimakkaasti, vaikka sen hinta pysyttelikin esimerkiksi vuonna 2024 pääosin alle 75 €/tCO₂ tasolla. Päästökauppaa ei tällä hetkellä sovelleta polttoaineteholtaan alle 20 MW:n laitoksiin tai kaukolämpöjärjestelmiin, mutta tähänkin raja-arvoon liittyy epävarmuuksia pitkällä aikavälillä.

Kaikki edellä kuvattu **epävarmuus** on aiheuttanut sen, että **investoinnit uuteen, polttoon perustuvaan lämmöntuotantokapasiteettiin ovat laskeneet minimiin**. Kaukolämpöyhtiöt investoivat tällä hetkellä voimakkaasti sähkökattiloihin, lämpöpumppuihin sekä ylipäänsä hukka- ja ympäristölämpöjen hyödyntämiseen. Pitkällä aikavälillä tämä johtaa polttamiseen perustuvan lämmöntuotantokapasiteetin voimakkaaseen vähenemiseen.

4.5.5 Lämmöntuotannon toimitusvarmuus sähköistymisen edetessä

Kaukolämmön tuotannon kokonaiskapasiteetti on tällä hetkellä yhteensä noin 24 000 MW. Kivihiileen perustuvaa kapasiteettia, joka poistuu markkinoilta kuluvan vuosikymmenen aikana, on

yhteensä noin 3 000 MW.⁹⁷³ Seuraavien viiden vuoden aikana polttoon perustuvan kaukolämmön tuotantokapasiteetin arvioidaan laskevan noin 23 000 megawatista 16–18 000 megawattiin, kun kivihiileen perustuva lämmöntuotantokapasiteetti poistuu ja osa muista laitoksista tulee käyttökänsä päähän. Samalla sähkökattiloiden ja hukkalämmön tuotantokapasiteetin arvioidaan kasvavan noin 2 000 megawatilla.

Suomen kaukolämpöverkkojen asiakkaiden **yhteissopimusteho** eli käytännössä kaukolämmön tarve on vajaat 20 000 MW. Kaukolämpöverkkojen yhteenlaskettu talven hetkellinen maksimiteho on kuitenkin viime talvina ollut noin 13 000 MW, eli varsin lähellä hetkellistä sähkön maksimitehon tarvetta. Koska kaukolämpöverkot eivät merkittävästi laajene eikä niihin kytkeydy merkittäviä määriä uusia asiakkaita, maksimitehon tarpeen arvioidaan säilyvän samalla tasolla seuraavien noin 10 vuoden ajan.

Näin ollen riittävän lämmöntuotantokapasiteetin arvioidaan säilyvän kaukolämpöverkoissa viiden vuoden tähtäimellä myös poikkeustilanteissa, vaikka polttokapasiteettia korvautuukin lähivuosina sähkön käytöllä. Sen sijaan **2030-luvulla riittävän polttoon perustuvan lämmöntuotantokapasiteetin säilyminen voi olla uhattuna**, jollei huippu- ja varalämpökattiloiden teknisestä toimintakyvystä pidetä huolta.

4.5.6 Kriittisten komponenttien ja materiaalien huoltovarmuus kaukolämmön tuotannon sähköistyessä

Polttamiseen perustuvien teollisuusprosessien korvautuminen sähköllä, uudet datakeskukset sekä kaukolämpöverkkoihin kytkeytyvät sähkökattilat ja lämpöpumput aiheuttavat tarpeen vahvistaa **sähköverkkoja** niin paikallisesti kuin valtakunnallisestikin. Tyypillisesti tämä tarkoittaa uusien sähköasemien rakentamista kanta- ja jakeluverkkoihin, keskijännitemuuntamoiden rakentamista sähkön käyttöpaikoille sekä sähköverkon säävarmuuden parantamista esimerkiksi kaivamalla kaapelit maahan. Sähkökattilat ja lämpöpumput luovat uudenlaisia komponenttiriippuvuuksia kaukolämpöyhtiöille.

Sähköverkkojen osalta pisimmät **toimitusajat**, eli noin 9–12 kuukautta on tällä hetkellä sähköasemilla ja keskijännitemuuntamoihin tulevilla kojeistoilla sekä sähköasemien päämuuntajilla. Yleensä sähköasemilla käytetään lähtökohtaisesti vain yhden valmistajan pääkomponentteja, mikä saattaa kasvattaa toimitusaikoja ja toimitajariskiä. Sähkönjakeluverkkojen suuremmissa jakelumuuntajissa toimitusajat ovat neljästä kuuteen kuukautta.

973 Energiateollisuus 2024.

Puola ja muut entisen itäblokin maat ovat merkittäviä keski-jännitemuuntajien toimittajia, joten niiden saatavuus säilynee kohtuullisena kriisitilanteissakin. Eurooppalaisissa muuntajissa on kuitenkin pääosin **Kiinasta tai Taiwanista tulevia komponentteja ja elektroniikkaa**, joihin kohdistuu suurempia ilmastoon liittyviä ja kaupapoliittisia riskejä. Pitkät toimitusajat haittaavat silti ensisijaisesti sähköverkkoihin liittyviä uusinvestointeja, sillä verkon ylläpitoa varten yleensä löytyy riittävät materiaalit verkkoyhtiöiden varastoista. Maakaapeleiden saatavuus on hyvä, koska Suomessa on kaksi suurta kaapelitoimittajaa, ja kaapeleissa käytetään materiaalina pääasiassa alumiinia, jota jalostetaan myös Euroopassa.

Teollisen **hukkalämmön ja ympäristölämmön hyödyntäminen** kaukolämmön tuotannossa on lisännyt lämpöpumppujen käyttöä. Lämpöpumpuissa on useita komponentteja, joiden saatavuus on heikohko ja jotka ovat kriittisiä laitteiden toiminnalle, kuten lämpöpumppujen kompressorit, höyrystimet ja lauhduttimet. Näistä pisimmät toimitusajat (yli 6 kk) on tällä hetkellä lämpöpumppujen höyrystimillä ja lauhduttimilla. Lämpöpumpuissa suuren mittakokoraitosten kriittisille komponenteille ei ole kotimaisia valmistajia, mikä aiheuttaa riskejä toimitus- ja huoltovarmuuden ylläpitämisen näkökulmasta. Sähkökattiloissa taas pisimmät toimitusajat (9–12kk) on muuntajilla ja keskijännitekojeistoilla. Suuremmat sähkökattilat (5 MW+) ovat yleensä aina elektrodikattiloita, joille ei ole kotimaisia valmistajia, kun taas pienempiä vastuskattiloita valmistetaan myös Suomessa. Sähkökattilat ovat varsin vakiintunutta teknologiaa, joten tyypillisesti niihin on hyvin saatavilla komponentteja lyhyellä toimitusajalla myös kotimaasta. Sähkökattilalaitoksissakin voi kuitenkin olla komponentteja, joihin liittyy riippuvuuksia aasialaisista toimittajista.

Lämmityksen ja teollisuusprosessien sähköistyessä toimijoiden täytyy alkaa kiinnittää entistäkin tarkempaa huomiota **kriittisten komponenttien ja varaosien varastointiin**. Vikatilanteissa toimitusajat voivat olla helposti kuukausia. Laajemmassa kriisitilanteessa kaikkia komponentteja ei ole välttämättä saatavissa ulkomailta lainkaan.

4.6 Energiasektorin tilannekuva

Sähkön tuotannon ja kysynnän kehitystä koskevia ennusteita tuottaa Suomessa erityisesti Fingrid. Fingridin ennusteet palvelevat kantaverkkoinvestointien suunnittelua, ja niitä käytetään laajasti energiasektorin kehityksen ennakoinnissa niin työ- ja

elinkeinoministeriössä kuin muissakin julkisen ja yksityisen sektorin organisaatioissa. Fingridin tuottamat ennusteet perustuvat saatuihin liittymäkyselyihin sekä eri lähteistä hankittuun markkina-analyysiin. Liittymäkyselyt voivat indikoida todellisen verkkoon liitettävän kapasiteetin määrää, mutta niihin liittyy myös merkittävää epävarmuutta. Markkina-analyyysien oletukset esimerkiksi korkotason, investointikustannusten ja muiden muuttujien kehityksestä voivat vaikuttaa huomattavasti ennusteen toteutumiseen.

4.6.1 Sähköjärjestelmän ja sähkömarkkinoiden tilannekuvan epävarmuudet

Mikäli tuulivoiman kysyntänäkymä ei lähivuosina oleellisesti muutu, on mahdollista, että tuulivoimakapasiteetti on vuonna 2030 jopa 6 000–8 000 MW ja vuonna 2035 jopa 15 000 MW Fingridin arviota pienempi. Näin suurella poikkeamalla olisi **huomattavia vaikutuksia koko energiasäätelmän kehitykseen**, kuten joustojen ja sähkön siirron investointien kannattavuuteen. Tuulivoiman kasvun pysähtyminen useaksi vuodeksi tarkoittaisi myös sitä, että sähköä kuluttavia uusia teollisuusinvestointeja mahtuisi sähkömarkkinalle huomattavasti Fingridin ennustetta vähemmän. Toisaalta teollisuuden sähkönkulutuksen profiili ei sovi vaihtelevien uusiutuvien tuotantocykleihin, ja investointeja rajaavaksi tekijäksi muodostuu jo nykytilanteessa jatkuvasti käytettävissä olevan sähkötehon niukkuus.

Fingridin arvion lähtökohtana on teollisuuden sähköistymisen ja erityisesti vetytalouden kasvun luoma huomattava **sähkön kysynnän kasvu**. Sähkön kulutuksen on arvioitu jo pitkään kääntyvän nousuun, mutta merkittävää nousua ei ole tähän mennessä tapahtunut. Kulutuksen kasvua näyttää hillinneen sähköistymiseen kytkeytyvä energiatehokkuuden kasvu yhdistettynä sähkön ja erityisesti sähkön siirron kasvaneisiin kustannuksiin. Kaukolämpöjärjestelmien sähkökattilainvestoinnit, datakeskukset sekä teollisuuden prosessien ja liikenteen sähköistyminen todennäköisesti nostavat jonkin verran sähkön kulutusta, mutta ne eivät riitä nostamaan tuulivoiman kysyntää kannattavuuden ja investointien merkittävän kasvun mahdollistavalle tasolle.

Fingridin ennusteen toteutuminen edellyttäisikin huomattavia, tehon tarpeeltaan tuhansiin megawatteihin nousevia uusia investointipäätöksiä energiantensiiviseen teollisuuteen tilanteessa, jossa sähkömarkkinoiden ja sähkön hinnan kehitystä on lähes mahdoton ennakoita. **Sähkömarkkinan tilannekuvan selkiyttäminen** ja kehityksen suuntaviivojen vakauttaminen ovatkin monille sijoittajille ehto

investointien toteuttamiselle. Suomessa ei ole laajasti jaettua tilannekuvaa eikä visiota energiajärjestelmän kehittämisestä.

Energia- ja teollisuussektoreiden yritykset sekä toimintaympäristön kehittämisestä vastaavat hallinnonalat toimivat nykytilanteessa pitkälti toisistaan erillisinä. Yksittäinen iso teollisuusinvestointipäätös, kuten jopa yli 10 TWh:n vuositasolla sähköä kuluttava vetyterästehdas, vaatii tuekseen vahvat vakuudet sähkön riittävydestä ja kohtuullisista pitkän aikavälin sähkönhankintakustannuksista. Vaikka sähkön tuotannon ja kulutuksen kasvuun olisikin periaatteen tasolla Suomessa valmistauduttu, olisi teollisuuden investointipäätösten tueksi laadittava ohjauskeinoja, jotka takaavat vaadittavan uuden sähkön tuotannon kapasiteetin valmistumisen vaaditussa aikataulussa.

Ketjutusten varmistamiseen tarvittaisiin sähköä kuluttavan teollisuuden ja energiateollisuuden nykyistä **kattavampaa yhteistyötä**. Esimerkiksi Pohjois-Ruotsissa vetyteräsinvestointien toteutumista edesauttaa merkittävästi valtio-omisteisten Vattenfallin ja LKAB:n sekä osin valtion omistaman SSAB:n vahva yhteistyö. Myös kunnat ja Norbotenin maakuntahallinto toimivat tiiviissä vuorovaikutuksessa teollisuusyritysten kanssa. Ruotsin hallitus perusti joitakin vuosia sitten Pohjois-Ruotsin teollisuusinvestointien esittämiseksi korkean profiilin edustajan, jolla on arvioitu olevan keskeinen merkitys investointien vauhdittamiselle.⁹⁷⁴

Käsitykset Suomen ilmaisesta tai poikkeuksellisen edullisesta sähköstä voivat **kääntyä itseään vastaan** ja heikentää kuvaa Suomesta vakaana ja luotettavana energiasektorin ja teollisuuden toimintaympäristönä. Tosiasiassa Suomella tai millään muullakaan maalla ei ole mahdollisuutta tarjota sähköä ilmaiseksi, ja sähkön hinta pohjaa pitemmällä aikavälillä poikkeuksetta sähkön tuotannon, siirron ja sähköjärjestelmän ylläpidon kustannuksiin. Investointien houkuttelun kannalta keskeinen uskottavuustekijä on Suomen kyky varmistaa sähkön tuotannon, kulutuksen ja järjestelmähallinnan toteutuminen hyvään suunnitteluun ja taloudelliseen optimointiin pohjaten. Energian tuotannon laaja hajauttaminen ja pitkä etäisyys sähkön kulutuksen keskittymiin ei välttämättä tue optimaalisesti sähkön hintakilpailukyvyn säilymistä suhteessa kilpailijamaihin. Heikko järjestelmätason koordinaatio voi johtaa merkittäviin virheinvestointeihin sekä teollisuus- että energiasektoreilla.

974 Bye & Hansen 2023.

4.6.2 Sähköjärjestelmän ja sähkömarkkinoiden kehittämisen ristiriidat

Sähkömarkkinoiden kehittämiselle on asetettu osin **ristiriitaisia tavoitteita**. EU:n ja kansallisen sähkömarkkinasuunnittelun tärkeimpänä julkilausuttuna periaatteena on kysynnän ja tarjonnan tasapainottaminen kulloisellakin hetkellä sähkön hintainformaation avulla. Sähkön hinnan pitäisi siis kuvastaa kulloistakin, pitkälti sääolosuhteista riippuvaa sähkön tarjonnan niukkuutta. Kuitenkin nykyisellään alle 10 prosenttia Pohjoismaiden sähkön käytön volyyymista on hintasensitiivistä. Esimerkiksi tuulivoiman heikko saatavuus vähätuulisilla keleillä ei siten vaikuta riittävästi sähkön kulutukseen.⁹⁷⁵

Vaihtelevan uusiutuvan osuuden nopea kasvu edellyttää sähkön käytön painopisteen siirtymistä **hintasensitiiviseen** kulutukseen. Toisaalta EU:n ja kansallisen tason poliittisissa julkilausumissa halutaan taata sekä kansalaisille että teollisuudelle kohtuuhintainen sähkö ilman kohtuuttomaksi koettua vaihtelevien uusiutuvien aiheuttamaa hintavaihtelua. Hintavaihtelun äärevyys johtuu kuitenkin osaltaan siitä, että vain pieni osa sähkön käytöstä joustaa. Jos joustavan kulutuksen osuus olisi isompi, leikkautuisivat myös kovimmat hintapiikit. Hintapiikkien kompensoiminen kuluttajille niin, että kannuste sähkön käytön välttämiseen niukkoina ajankohtina ei kasvaisi, tuottaa perustavanlaatuisen ristiriidan vaihtelevien uusiutuvien osuuden kasvun kanssa.

Hintasensitiivisen kulutuksen osuuden olisi siis nopeasti noustava nykytasolta tai yhteiskunnan olisi taattava **energiavarastojen ja säätyvän sähkön** tuotannon investointien toteutuminen riittävässä mittakaavassa ja aikataulussa. Joustavan sähköntuotannon, sähkövarastojen ja kulutusjoustojen lisääminen ovat keskenään osin ristiriidassa, sillä ne syövät toistensa kannattavuutta. Sekä vaihtelevan uusiutuvan sähkön tuotannon että sähkövarastojen ja muiden joustoteknologioiden investointeja uhkaa kannibalisaatio, jossa yhteiskunnan tavoite tasaisesta ja ennakoitavasta sähkön hinnasta uhkaa sähköjärjestelmäinvestointien kannattavuutta ja toteutumista. Tarvittavien investointien ja tasapainoisen kehityksen turvaaminen edellyttääkin hyvää ja pitkäjänteistä järjestelmätason suunnittelua sekä oikein kohdennettuja julkisia interventioita.

975 Baltic Sea System Development Steering Committee 2022.

4.6.3 Epävarma turvallisuusympäristö edellyttää selkeää tilannekuvaa energiasektorin kehityksestä

Energiasektorin muutosta ohjaavat keskeisesti kansalliset ja EU-tason päästövähennystavoitteet sekä erityisesti Venäjän vastaisten pakotteiden aiheuttama tarve fossiilienergiatuonnin korvaamiseksi Euroopassa tuotetuilla energiamuodoilla. Lisäksi turvallisuusympäristön heikkeneminen vaatii uusia toimia energiainfran suojaamiseksi. Nopea muutos haastaa monin tavoin energia- ja teollisuussektoreita sekä laajemminkin yhteiskuntia. Muutoksen etenemisnopeuteen ja tapaan vaikuttaa vahvasti eri sektoreiden edunvalvonta ja poliittiset tavoitteet. Poliittiset riskit ja niiden hallinta korostuvat keskeisenä investointiympäristön laatutekijänä.

Suomessa ennakkointia tehdään lähinnä markkinasignaalien pohjalta. Globaalin markkina- ja turvallisuusympäristön muutos haastaa kuitenkin Suomessa vallitsevan näkemyksen siitä, että energiasektorin kehittäminen voitaisiin jättää pelkästään markkinatoimijoiden vastuulle. On myös tärkeää huomioida, että sähkön ja lämmön toimitus- ja huoltovarmuus on pääosin julkisesti omistettujen yhtiöiden harteilla. Kunta-, kaupunki-, valtakunta- ja EU-tason politiikka vaikuttaa siten väistämättä sekä suoraan että välillisesti energiayhtiöiden päätöksiin. Niin taloudellisen kuin poliittisen energialaa koskevan päätöksenteon tietopohjaa tulisikin vahvistaa **energian huolto- ja toimitusvarmuuden takaamiseksi** nopeasti etenevässä muutoksessa. Energia alan kehitykselle suotuisan toimintaympäristön takaaminen pitkäjänteisesti ja poliittisista suhdanteista riippumatta on ensiarvoisen tärkeä tekijä koko yhteiskunnalle.

Monet merkittävät energia- ja teollisuussektorien toimijat ovat peräänkuuluttaneet laajapohjaiseen keskusteluun perustuvan **energia-vision** toteuttamista Suomelle. Vision avulla voitaisiin hakea Suomelle optimaalista tapaa kehittää energiajärjestelmäänsä suhteessa globaalin markkina-, sääntely- ja turvallisuusympäristön muutokseen. Visio voisi tehostaa myös Suomen edunvalvontaa EU:n päätöksenteossa.

Energiasektorin kehittämisen tärkein vastuutaho Suomessa on työ- ja elinkeinoministeriö. Hallinnonalat ylittävän ennakkoinnin ja kehittämisen ylin vastuutaho puolestaan on valtioneuvoston kanslia. Akuuttien turvallisuusuhkien takia myös puolustusministeriön olisi luontevaa osallistua energiavision koostamiseen. Ympäristöministeriöllä puolestaan on vastuu alueiden käytön suunnittelusta ja kaavoituksesta sekä päästövähennyksistä. Lisäksi ulkoministeriön hallinnonalaan voisi kuulua myös energia-alan yhteistyön kehittäminen muiden Pohjoismaiden ja EU:n kanssa. Fingrid puolestaan

on valtionvarainministeriön ohjauksessa. Energiasektorilla on vahvoja vaikutuksia myös sisäministeriön vastuualueille. Lisäksi keskeisillä elinkeinoelämän toimijoilla (esim. EK) on tärkeä rooli kehittämistyössä.

4.7 Varautumisen keinoja

Sähkötalon riittävyyden rinnalla tulisi kiinnittää huomiota energiamarkkinoiden ja yhteiskunnan energiantarpeen kehityksen **ennakoinnin ja analyysikyvyn vahvistamiseen** sekä viestintään aihepiiristä. Väärän tai liian optimistinen kuvan vaaliminen voi johtaa kasaantuviin virhearvioihin tai osaoptimointiin eri hallinnon tasoilla ja yrityksissä. Myös eri viranomais tahojen vastuut sähkön ja lämmön toimitus- ja huoltovarmuuden varmistamisessa tulisi selkeyttää. Pääomainten-siivisen teollisuuden näkökulmasta kaikkein tärkeintä on vakaa ja ennakoitava investointiympäristö. Uusien teollisten investointien varmistamiseksi Suomen energiapolitiikan tulisi olla mahdollisimman pitkäjänteistä ja ennakoitavaa.

Energiamarkkinan kokonaiskehityksen heikko ennakoitavuus ja Suomen tiiviimpi linkittyminen Pohjoismaiden, Baltian ja EU:n sähkömarkkinoihin heikentävät mahdollisuuksia vaikuttaa kansallisisilla ratkaisuilla sähkön kysynnän ja tarjonnan tasapainoon tai sähkön hintaan. Suomi voisikin hyötyä nykyistä **tiiviimmästä yhteistyöstä ja koordinaatiosta** sähkömarkkinoiden ja sähköjärjestelmän kehittämisessä **naapurimaiden** kanssa.

Sähkönkulutusta lisäävien teollisuusinvestointien sähkön hankinnan haasteita voitaisiin ratkoa myös tapaus- ja aluekohtaisesti. Esimerkiksi merkittävien teollisuusekosysteemien tai teollisuuspuistojen suunnitteluun voitaisiin lisätä nykyistä laajempi mahdollisuus toteuttaa **vaihtelevaa uusiutuvaa, joustavaa tai jatkuvasti käytettävissä olevaa sähkötaloa** kunkin investoinnin tarpeita vastaavasti (esim. PPA- tai Mankala-malleja hyödyntäen) ilman, että sähkön täytyisi kiertää kantaverkon kautta. Näin sähköjärjestelmäinvestoinnit kytkeytyisivät nykyistä suoremmin sähkön kulutusta nostaviin investointeihin, ja mahdollisilta kantaverkkotason tuotannon, siirron ja energiavarastojen virhe- tai yli-investoinneilta välttyttäisiin.

Vallitsevassa turvallisuustilanteessa voisi olla perusteltua vahvistaa kriittisen teollisuustuotannon ja eri alueiden toiminta-edellytyksiä sijoittamalla esimerkiksi teollisuuspuistojen yhteyteen **sähkövarastoja ja joustavaa sähköntuotannon kapasiteettia**, mikä mah-

dollistaisi sähkönjakelun jatkamisen teollisuusalueen tai alueen saarekkeessa myös mahdollisessa tahallisessa tai tahattomassa valtakunnallisessa sähkönjakelun häiriötilanteessa. Tällä voisi olla huomattava vaikutus yhteiskunnan toimintakyvyn säilyttämiseen myös sotilaallisen hyökkäyksen olosuhteissa.

Teollisuus-, energia-, elinkeino- ja turvallisuuspolitiikka ovat Suomessa viime vuosina hahmottuneet toisistaan erillisinä hallinnon ja päätöksenteon osa-alueina. Kansallisten strategisten intressien painottuminen kansainvälisessä politiikassa haastaa myös Suomessa eri **politiikkasektoreita toimimaan tiiviimmässä yhteistyössä**. Tarkasteltaessa Suomen ja muiden Pohjoismaiden energia- ja raaka-aineintensiivisen teollisuuden historiaa voidaan havaita, että merkittävimpien teollisuuskeskittymien toteutuksen taustalla on usein ollut strategiseksi tunnistettu kansallinen intressi ja sen tavoittelua palveleva tiivis julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyö.

Suomella ei ole jatkossa kilpailijamaista oleellisesti poikkeavia edellytyksiä tuottaa sähköä erityisen edullisesti, ja siksi poikkeuksellisen edulliseen pitkän aikavälin sähkön hintaan perustuvia skenaarioita ja teollisuuspoliittisia strategioita voidaanakin pitää epärealistisinä. Myös EU:n sähkömarkkinadesignissa keskeisessä roolissa oleva hintavyöhykkeiden välisten siirtoyhteyksien vahvistaminen vie samaan suuntaan. **Hyvällä suunnittelulla** voidaan kuitenkin mahdollistaa merkittäviä säästöjä sähkön ja lämmön tuotannon, siirron ja varastoinnin ja käytön osalta erityisesti alueellisissa teollisuusekosysteemeissä.

Suomessa ja EU:ssa on käyty poliittista keskustelua mahdollisuuksista suojata sähkön käyttäjiä kovimmilta hintapiikeiltä ja turvata sähköjärjestelmän toimintaa ns. **kapasiteettimekanismeilla**, jotka kannustaisivat ylläpitämään sääriippumatonta sähkötehon tarjontaa. Koska EU:n laajuisen kapasiteettimekanismin rakentaminen kestää arviolta 6–10 vuotta, on Suomessa käynnistetty valmistelut sääriippumattoman kapasiteetin hankkimiseksi ns. fossiilittomien joustojen tarjouskilpailulla.⁹⁷⁶ Joustavan tehontarpeen mitoituksessa ja sijoittelussa tulisi huomioida tuulivoiman faktinen käytettävyys sekä mahdollisuus sijoittaa joustavaa tuotantoa kansantalouden ja resilienssin kannalta optimaalisiin kohteisiin.

Joustavan sähkötehon tuotannon rinnalla tarvitaan sääriippuvaisen tuotannon osuuden kasvaessa myös huomattavan mittakaavan **kulutusrjoustoja**. Joustokykyä olisi tärkeää kehittää koordinoitusti, sillä vaadittavat joustot tuottavat hyvin erilaisia kustannuksia ja

976 Sallinen 2024.

haasteita eri toimialoilla. Joustojen ohjaaminen pelkästään sähkön markkinahinnan mukaan voi tuottaa yhteiskunnan tasolla haitallisia seurauksia. Tarvittavaan tekniseen joustokykyyn ei välttämättä investoida, koska investointien takaisinmaksun takaavan riittävän volatiliteetin säilymisestä ei pitkällä aikavälillä ole takeita. Toisaalta esimerkiksi ruoantuotanto voi kärsiä kohtuuttomasti pitkistä erittäin kalliin sähkön hinnan jaksoista.

Näköpiirissä ei ole teknologioita, jotka mahdollistaisivat yhteiskuntien energiatarpeen tyydyttämisen pelkästään sääriippuvaisella sähkön tuotannolla. Siten ilmasto-, energia- ja teollisuuspolitiikan painopistettä tulisi siirtää vaihtelevien uusiutuvien, joustavan tuotannon ja kulutuksen sekä säättävän ja jatkuvasti käytettävissä olevan sähkön tuotannon **optimaalisten yhdistelmien** mahdollistamiseen. Polttamiseen perustuvilla energiamuodoilla on jatkossakin rooli toimitus- ja huoltovarmuuden turvaajina, vaikka niiden vuositason käyttötuntimäärät tulevat edelleen vähenemään.

Laajalle maantieteelliselle alueelle **hajautettu sähköntuotanto** voi myös vahvistaa energiaturvallisuutta, mikäli paikallisen sähkön tuotannon käyttö mahdollistetaan myös valtakunnan verkon häiriötilanteissa. Kulutuksen ja tuotannon tasapainottaminen alueellisella tasolla esimerkiksi teollisuuspuistojen yhteydessä voisi myös helpottaa energian siirron haasteita ja kustannuksia normaalitilanteessa. Alueellisen tasehallinnan mahdollistaminen vaatii yritysten ja julkisen sektorin koordinoituja kehittämistoimia sekä alueellisella että valtakunnallisella tasolla.

Eri aluetasojen hallinnon, poliittisen päätöksenteon ja yritysten saumaton yhteispeli, ketteryys ja hyvä koordinaatio ovat Suomen perinteisiä vahvuuksia, ja **yhteisen koordinaation** arvo korostuu jatkossa entisestään. Energiasektori on väistämättä sidoksissa poliittisiin päätöksiin. Päätöksenteossa olisikin välttämätöntä tunnistaa ja ennakoida nykyistä paremmin erilaisten ratkaisujen vaikutusketjuja energia-alalle ja muuhun yhteiskuntaan. Energiamarkkinoiden turha ohjailu tai rajoittaminen tulisi minimoida, mutta samalla energian rooli teollisuuden kilpailukyvyyn ja yhteiskunnan kokonaisturvallisuuden ylläpitäjänä tulisi tunnistaa nykyistä paremmin.

Energiajärjestelmän kustannustehokkuutta ja resilienssiä voitaisiin vahvistaa linkittämällä **uusi sähkön tuotanto tiiviimmin sähköä kuluttavaan teollisuuteen**. Tämä voisi alentaa siirtokustannuksia ja mahdollistaa tuotannon ylläpitämisen valtakunnan verkon häiriötilanteissa. Toisaalta alueellisen toimintakyvyn säilymisen edellytyksenä

on riittävän monipuolinen alueellinen energian tuotannon paletti, joka sisältää myös muuta kuin sääriippuvaista sähkön tuotantoa.

Sähkön tuotannon, kulutuksen, varastoinnin ja joustokyvyn optimointi ja kustannustehokkuuden ja resilienssin varmistaminen vaatii **hyvää suunnittelua ja sektorirajat ylittävää yhteistyötä**. Yksi keino parantaa poikkihallinnollista suunnittelua olisi perustaa toimijoiden yhteinen työryhmä energiasektorin ja energiaintensiivisen teollisuuden tilannekuvan ja kehittämisvision laatimiseksi. Tavoitteena tulisi olla tilannekuvan jatkuva päivittäminen ja organisaatioiden yhteisen visiotyön vakiinnuttaminen keskeiseksi energia-, teollisuus-, turvallisuus- ja ympäristösektorien jatkuvuuden hallinnan työkaluksi. Työssä mukana tulisi olla ainakin energiasektorin kehittämisestä vastaava työ- ja elinkeinoministeriö, hallinnonalat ylittävästä ennakoinnista vastaava valtioneuvoston kanslia, akuuttien turvallisuusuhkien takia puolustusministeriö, alueiden käytön suunnittelusta ja kaavoituksesta sekä päästövähennyksistä vastaava ympäristöministeriö sekä kansainväliset ulottuvuudet huomioiden ulkoministeriö. Keskeisillä elinkeinoelämän toimijoilla tulisi myös olla tärkeä rooli kehittämistyössä.

Tilannekuvan luomista ja suunnittelua auttaa **yksiselitteisten tavoitteiden** määrittäminen energiasektorille työ- ja elinkeinoministeriön tai hallituksen toimesta. Näitä voisivat olla esimerkiksi Suomen kykeneväisyys kattaa kotimaan tehontarve normaalitilanteessa ilman sähkön tuontia ja kaukolämpöyhtiöiden riittävän (80–100 prosenttia) polttoon perustuvan lämmöntuotannon varakapasiteetin ylläpito pitkällä aikavälillä.

Sähkötehon riittävyyslaskelmien **laskentakriteereitä** tulisi muuttaa nykyistä realistisemmiksi ja selkeämmiksi eri sähköntuotantomuodoille (esim. tuulivoiman teho-oletus pitäisi laskea 6 prosentista 0–3 prosenttiin). Samalla eri sähköntuotantomuotojen ja kulutustarpeiden ajallinen tuotanto- ja kulutusprofiili (ja profiilin ”arvo”) tulisi nykyistä paremmin huomioida ennusteissa ja politiikkatoimissa.

Edellä esitetyn tueksi ja lisäksi myös seuraavat toimet voivat parantaa varautumista energiasektorilla:

- Joustavan sähköntuotanto- tai varastointikapasiteetin mahdollisimman markkinaehtoisien syntymisen edistäminen
- Toimenpiteet sähkönkulutuksen hintasensitiivisyyden lisäämiseksi

- Toimenpiteet sähkön tuotannon ja kulutuksen nykyistä parempaan alueelliseen tasapainottamiseen, millä lisättäisiin sähköjärjestelmän resilienssiä ja kokonaistehokkuutta
- Sähkön rajasiirtokapasiteetin hallittu lisääminen ensisijaisesti halvemman sähkön keskihinnan alueille
- Sähkön kulutuksen ja tuotannon alueellinen yhteen nivominen sekä alueellisen tasehallinnan ja saareketoiminnan mahdollistaminen erityisesti merkittäviin teollisuuskeskittyisiin
- Suositukset tai kannustimet kaukolämpöyhtiöille riittävän (80–100 prosenttia) polttoon perustuvan varakapasiteetin ylläpidosta pitkällä aikavälillä
- Suositukset kaukolämpöyhtiön riittävän oman varavoimakapasiteetin hankkimiseksi sähkön minimitarpeen saannin varmistamiseksi (esimerkiksi lämpöpumppujen ja kl-pumppujen pyörittämiseksi sähkön toimitushäiriötilanteissa) tai vaihtoehtoisesti siirrettävän varalämmöntuotantokapasiteetin hankkimiseksi
- Lyhyen aikavälin lämpövarastojen tai kausivarastojen käyttöönottoon kannustaminen (esimerkiksi suotuisalla kohtelulla kiinteistöverotuksessa)
- Kaukolämpöyhtiöiden huoltovarmuuskriittisyyden huomioiminen velvoitesopimuksissa ja kaukolämpöyhtiöiden polttoaineentoimitussopimuksissa mahdollisia häiriötilanteita ajatellen
- Ohjeistus kaukolämpöyhtiöille sopia järjestelyistä paikallisen sähköverkkoyhtiön kanssa siitä, että mahdollisessa sähkökatkojen kierrätystilanteessa kaikki sähköön perustuvat lämmöntuotantoyksiköt eivät olisi samaan aikaan pois käytöstä
- Kannustimet edistää toimialan tai yhtiöiden välisiä yhteisiä varasto- tai polttoainevarastoja
- Ohjeistukset yhtiöille lämmöntuotannon kriittisten varaosien selvittämiseksi, varastoimiseksi ja niiden asennuskyvyn varmistamiseksi

5. Ilmastonmuutoksen huoltovarmuus- vaikutusten ennakointi

Kuten edellä kuvatut tapaustutkimukset osoittavat, ilmastonmuutoksen ja ekologisen kriisin huoltovarmuuteen liittyviä riskejä ilmenee monella eri toimialalla Suomessakin. Niiden ennakkoinnissa keskeinen haaste on vaikutusketjujen monimutkaisuus. Lopulliset toteutuvat seuraukset voivat olla keskenään erilaisia, jolloin niitä on myös vaikea johdonmukaisesti integroida olemassa oleviin ennakointi- ja varautumisprosesseihin. Osin eriävien riskien taustalla voi kuitenkin myös tunnistaa samankaltaisia vuorovaikutuksia. Niitä voi tarkastella ketjuina, joissa ympäristömuutokset, yhteiskunnan haavoittuvuudet ja globaalit riippuvuudet kytkeytyvät toisiinsa.

Tässä luvussa muodostetaan aikaisemman kirjallisuuden ja tapaustutkimusten pohjalta analyysikehikko, jolla on mahdollista tarkastella ympäristöön liittyvien riskien taustalla olevia vaikutusketjuja. Aineiston avulla on tunnistettu keskeisimpiä osatekijöitä ja niiden välisiä suhteita, jotka määrittävät Suomen huoltovarmuuteen kohdistuvia riskejä. Analyysikehikon on tarkoitus toimia ennen kaikkea huoltovarmuuden ennakkoinnin ja suunnittelun tukena ja tulla

käyttöön Huoltovarmuuskeskuksen työssä, mutta se voi hyödyttää myös kansallista ennakointia ja esimerkiksi ilmastonmuutokseen sopeutumista. Siksi analyysikehikko esitellään myös osana tätä raporttia, vaikka viitekehyksen kehittäminen jatkuu yhä samalla kun sitä jalkautetaan Huoltovarmuuskeskuksen käyttöön.

Tutkimuskirjallisuudessa ilmastonmuutokseen liittyvien riskien vaikutusketjuista on erilaisia jäsennyksiä, jotka perustuvat usein riskien välittymiskanavien kategorisointiin. Esimerkiksi CASCADES-hankkeen tutkijoiden mukaan on tärkeä huomioida sekä erilaiset ilmastolliset alulle panevat tekijät että vaikutusten välittymisen reitit, mittakaavat ja dynamiikka sekä sosioekologinen konteksti, johon sisältyy myös ilmastonmuutokseen liittymättömiä tekijöitä. CASCADESissa rajoja ylittävälle, ketjuuntuville ilmastonmuutoksen vaikutuksille on tunnistettu seitsemän mahdollista siirtymisen reittiä: kauppa; infrastruktuuri; rahoitus ja vakuuttaminen; ihmisten liikkuminen; ekosysteemien biofysiikka; geopolitiikka; sekä psykologia (tieto ja ymmärrys).⁹⁷⁷ Näiden vaikutuskanavien kautta myös esimerkiksi kansainväliseen ilmastopolitiikkaan liittyvät siirtymävaikutukset koskettavat Suomea.⁹⁷⁸

Etenkin kestävyystutkimuksessa käytetään paljon *tele-coupling*- tai *teleconnectivity*-viitekehyksiä, joiden avulla voi tarkastella erilaisten toimijoiden osallistumista esimerkiksi tiedon, energian, materian, ihmisten ja tuotteiden ympärille muodostuviin globaaleihin vuorovaikutuksiin.⁹⁷⁹ Moser ja Hart tunnistavat kahdeksan eri ”telekonnektiota”, joiden kautta ilmastovaikutukset välittyvät: kauppa ja taloudellinen vaihdanta, vakuutus- ja jälleenvakuutusmarkkinat, energijärjestelmät, ruokajärjestelmät, terveys, muuttoliike, viestintä sekä strategiset liittoumat ja sotilaalliset vuorovaikutukset.⁹⁸⁰

Haasteena riskianalyysissa on ollut yhteisen terminologian puute sekä riskien monimutkaisuus ja epävarmuus.⁹⁸¹ Erityisesti järjestelmätason riskien tarkastelu on vaikeaa, sillä niiden hahmottaminen voi edellyttää niiden tiivistämistä lineaarisiksi ketjuiksi, jotka kuitenkin usein yksinkertaistavat riskien dynamiikkaa liikaa. Usein riskitarkastelut eivät myöskään riittävästi huomioi omistajuuden kysymyksiä, kuten kykyä tai valtuuksia riskinhallintaan.⁹⁸² Tämä kaikki

977 Benzie ym. 2013; Carter ym. 2021; Hildén ym. 2016.

978 Esim. Hildén ym. 2016.

979 Liu ym. 2013.

980 Moser & Hart 2015.

981 Florin & Bürkler 2017.

982 Moser & Hart 2015.

heikentää olennaisesti edellytyksiä soveltaa ilmastoon liittyvien riskien arviointia osaksi käytännön ennakointia ja varautumista.

CASCADES-hankkeessa ilmastonmuutoksen rajoja ylittävien vaikutusten tarkastelulle on kehitetty viitekehys, jossa yhdistetään vaikutusketjujen dynamiikan sekä vaikutuksiin vastaamisen eli responssin dynamiikan luokitteluja. Viitekehys auttaa erottamaan esimerkiksi erilaisia vaikutusten välittymismekanismeja ja siten tunnistamaan niihin sopivia vasteita. Tutkijat kuitenkin itse kuvaavat CASCADES-viitekehysten soveltuvan pikemmin tutkimuksen jäsentämiseen kuin sellaisenaan sovellettavaksi käytäntöön päätöksenteon tukityökaluna. He myös huomauttavat sen olevan ilmastopainotteinen, mistä syystä viitekehys saattaa aliarvioida esimerkiksi poliittisten, taloudellisten ja geofysikaalisten riskien merkitystä sekä riskin omistajuuden kysymyksiä.⁹⁸³ Harris ym.⁹⁸⁴ puolestaan ovat muodostaneet aikaisempien tarkastelujen pohjalta kehyksen, joka auttaa tunnistamaan, arvioimaan ja tarkastelemaan paitsi rajat ylittäviä ilmastoriskejä myös nimenomaan riskin omistajia ja näiden mahdollisia sopeutumistoimia. He kuitenkin myös korostavat kehyksen soveltuvan pääasiassa tutkijoiden käyttöön ja erityisesti rajattujen tapaustutkimusten tarkasteluun.

Tässä raportissa on pyritty löytämään tarkastelukehys, joka hyödyttäisi ennen kaikkea käytännön ennakointia ja varautumista ja jota olisi helppo soveltaa jo olemassa olevaan työhön ja käytänteisiin. Tutkimuskirjallisuuden elementtejä ja tapaustutkimuksista nousseita havaintoja yhdistelemällä on muodostettu vaikutusketjujen analyysiin pohjautuva viitekehys. Sen toimivuutta on testattu ja osatekijöitä jatkokehitetty muun muassa huoltovarmuuden toimijoille järjestetyssä työpajassa. Taulukossa 4 esitetään analyysikehikon osat eli haavoittuvuustekijät, ympäristö- ja siirtymävaikutukset, vaikutuskanavat ja seuraukset. Taulukon tarkoituksena ei ole olla lopullinen ja kaikenkattava vaan pikemmin tarjota tapaustutkimuksen tarkastelun perusteella esimerkkejä siitä, millaisiin tekijöihin ennakointianalyyssissa tulisi kiinnittää huomiota. Eri osatekijöiden alla olevat esimerkit eivät automaattisesti seuraa toisiaan, vaan niistä voi muodostua erilaisia vaikutusketjuja.

Vaikutukset on tässä jaettu *ympäristövaikutuksiin* ja *siirtymävaikutuksiin*. Ympäristövaikutuksia ovat eri puolilla maailmaa ilmenevät äärisäät tai muut ympäristökriisin seuraukset. Siirtymä-

983 Carter ym. 2021, 11.

984 Harris ym. 2022.

Haavoittuvuus- tekijä	Ympäristö- vaikutus	Siirtymävaikutus	Vaikutuskanava	Seuraus
• Pitkät/ monimutkaiset tuotantoketjut • Joustamaton sääntely • Keskittynyt tuotanto • Korkea tuonti- riippuvuus • Resurssien tuhlaava käyttö • Tehoton ilmaston- muutoksen hillintä	• Äärisäät • Maaperän köyhtyminen • Makean veden kierron epävakaas • Ilmastonmuutok- sen keikahdus- pisteiden ylittäminen • Ekosysteemien tuhoutuminen • Avainlajien sukupuutto	• Kriittisten raaka-aineiden kysynnän kasvu • Yhteiskunnan kasvava sähkö- riippuvuus • Petrokemiallisten tuotteiden alasajo • Päästötön lannoitetuotanto • Luonnon ennallistaminen • EU:n hiiliraja- mekanismi	• Infrastruktuuri • Ekosysteemi- palvelut • Markkinat • Logistiikka • Työvoima • Muuttoliike • Kansainväliset suhteet • Sääntely • Kauppa	• Toimituskatkos • Teollisten toimin- tojen keskeytys • Häiriöt yhteiskunnan elintärkeissä toiminnoissa • Taloudelliset tappiot • Ruoantuotannon väheneminen • Konfliktit resursseista • Hiilivaraston romahdus

vaikutuksilla tarkoitetaan konkreettisia toimia, joilla pyritään hillitsemään ilmastonmuutosta, vähentämään saastumista ja hidastamaan luontokatoa. Ympäristö- ja siirtymävaikutuksia voi esiintyä erikseen tai samanaikaisesti, ja ne voivat joko vahvistaa tai lieventää toisiaan.

Haavoittuvuustekijät ovat olemassa olevia olosuhteita tai kehityskulkuja, jotka ovat riippumattomia ekologisesta kriisistä, mutta voivat pahentaa sen vaikutuksia. Niihin on usein vaikeaa tai jopa mahdotonta suoraan vaikuttaa Suomen huoltovarmuustoimilla. Esimerkiksi tietyn lääkeaineen tai komponentin keskittyminen tietylle maantieteelliselle alueelle voi voimistaa sään ääri-ilmiöiden aiheuttamien tuotantohäiriöiden seurauksia, kun korvaavia tuotantoketjuja ei ole tarjolla.

Vaikutuskanavat viittaavat kanaviin, joiden kautta ympäristö- tai siirtymävaikutukset välittyvät kansallisten ja alueellisten rajojen yli. Esimerkiksi jos kuivuudet Etelä-Amerikassa vähentävät soijan tai muiden kriittisten viljelykasvien vientiä, kansainvälinen kauppa ja markkinat toimivat polkuina, jotka välittävät tarjonnan vähenemisen ja hintojen nousun seuraukset eteenpäin.

Taulukko 4. Ympäristöön liittyvien turvallisuusriskien osatekijät.
Lähde: Hakala & Räisänen 2025.

Seuraukset ovat riskien lopputuloksia, jotka näkyvät konkreettisesti myös Suomen huoltovarmuudessa. Esimerkiksi lääkeaineiden tuotantohäiriöistä voi seurata meillä hintapiikkejä ja toimitusvaikeuksia. Juuri näihin seurauksiin varautumisen takia vaikutusketjun hahmottaminen on tärkeää.

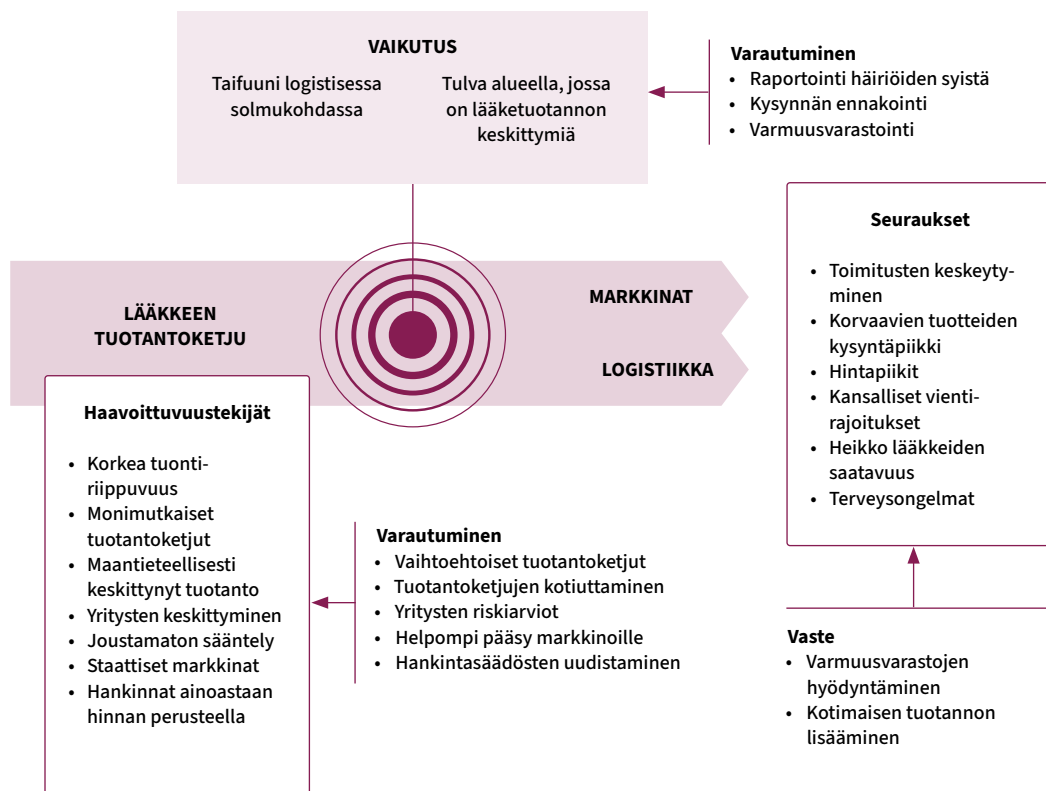
Analyttinen viitekehys auttaa myös tunnistamaan sopivaa pitkän aikavälin *varautumista* tai reaktiivisemmin toteutettavaa *vastetta*. Viitekehyksessä huomioidaan siten myös, missä kohdissa vaikutusketjua ja millaisin konkreettisin keinoin eri sektoreilla voisi varautua. Tämä osatekijä perustuu sekä kirjallisuuskatsaukseen että tapaustutkimuksissa tunnistettuihin käytössä oleviin ja mahdollisiin varautumiskeinoihin.

Seuraavassa on muodostettu esimerkkivaikutusketjuja kolmelle sektorille: lääkehuoltoon, lannoitteisiin ja kriittisiin raaka-aineisiin. Sähköistyminen on jätetty vaikutusketjuanalyysin ulkopuolelle, sillä siihen liittyvät ennakointi- ja varautumistarpeet liittyvät koko sähköjärjestelmän suunnitelmalliseen kehittämiseen ja poikkeavat siten jossain määrin muista tapaustutkimuksista. Vaikutusketjuanalyysin hyödyntämiselle sähköntuotantosektorilla ei kuitenkaan ole esteitä.

Kuva 17 havainnollistaa vaikutusketjuanalyysia lääkehuollossa. Voimakas taifuuni tuotantoalueella aiheuttaisi lääkevalmistamoille suoraan vahinkoa alueellisista tulvista. Vaikka tehtaat kärsisivät vain vähäisiä suoria vaurioita, sähköverkon häiriöt voisivat keskeyttää niiden toiminnan. Myös alueelliset evakuointimääräykset voisivat koskea tehtaan työntekijöitä. Kuljetus- ja logistiikkainfrastruktuurin häiriöt voisivat estää työntekijöiden, raaka-aineiden ja tuotteiden liikkumisen tuotantolaitoksille ja niiltä pois, kun taas myrskyn aiheuttamat vahingot satamainfrastruktuurille voisivat estää tai viivästyttää tavaroiden lastausta.

Puute- ja toimitushäiriöiden riski kasvaa, kun tuotteilla tai raaka-aineilla on maailmanlaajuisesti vain muutama toimittaja. Puutuvaa tuotetta on vaikea korvata muiden tehtaiden tuotannolla, koska tuotantoa ei voida siirtää ilman uutta sertifiointiprosessia. Valtiot voivat asettaa vientirajoituksia, ja hinnat voivat nousta markkinoilla, joilla niitä ei säännellä.

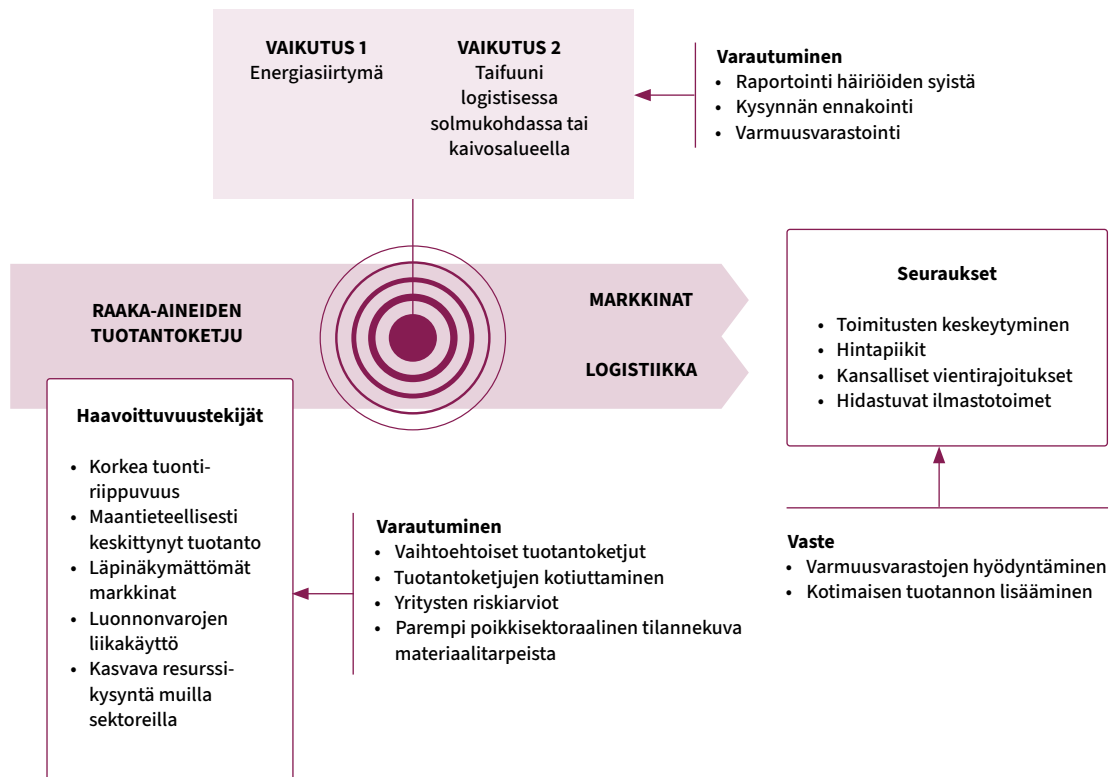
Järjestelmän haavoittuvuutta lisäävät myös EU-maiden julkiset hankinnat, jotka painottavat alhaisinta hintaa muiden kriteerien sijaan. Tämän seurauksena tuotantoketjuissa ei pidetä ylimääräisiä varastoja, sillä tuotanto suunnitellaan mahdollisimman kustannustehokkaaksi.



Lääkealalla vaikutuksiin varautuminen tarkoittaa muun muassa entistä tarkempaa kysynnän ennakoitua ja raportointia saatavuushäiriöiden syistä, jotta ilmastoon liittyvät tekijät tulisivat paremmin tunnistetuiksi. Nämä myös voivat auttavat tunnistamaan varmuusvarastoinnin tarvetta tiettyjen lääkeaineiden osalta. Esimerkiksi vaihtoehtoisten tuotantoketjujen kartoittaminen, hankintasäädösten uudistaminen ja markkinoille pääsyn helpottaminen voivat puolestaan vähentää riippuvuutta yksittäisistä tuottajista tai lääkeaineista. Lyhyellä aikavälillä varmuusvarastojen hyödyntäminen ja mahdollisuuksien mukaan kotimaisen tuotannon lisääminen voivat toimia vasteena.

Kuva 18 havainnollistaa kriittisiin raaka-aineisiin liittyvää vaikutusketjua. Kuten luvussa 2 on kuvattu, kaivannaisten louhinta ja jalostus on erittäin resurssi-intensiivistä, ja tuotantopaikat sijaitsevat usein ilmastonmuutokselle haavoittuvilla alueilla, kuten esimerkiksi Chilessä, Etelä-Afrikassa ja Australiassa. Sään ääri-ilmiöt, kuten tulvat ja myrskyt voivat vahingoittaa tuotanto- ja logistiikkainfrastruktuuria ja viivästyttää tärkeiden raaka-aineiden toimituksia. Lisääntyvä

Kuva 17. Lääkkeiden tuotantoketjun häiriö. Lähde: Hakala & Räisänen 2025. Grafiikka: Joonas Juutilainen.



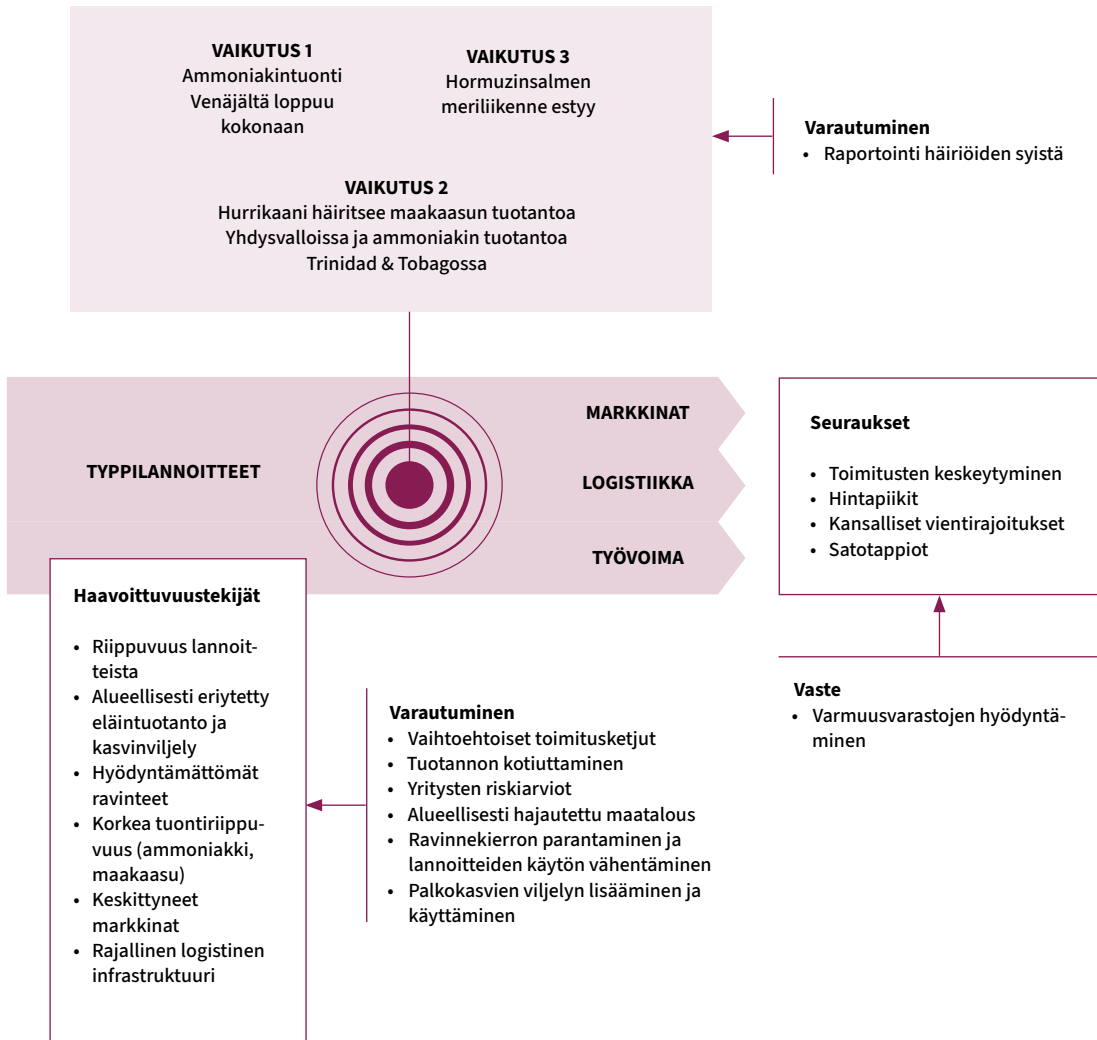
Kuva 18. Kriittisten raaka-aineiden tuotantoketjun häiriö. Lähde: Hakala & Räisänen 2025. Grafiikka: Joonas Juutilainen.

kuivuus voi vaikuttaa kaivosteollisuuden vedenkäyttöön ja aiheuttaa ristiriitoja paikallisyhteisöjen kanssa.

Järjestelmäriskin mahdollisuus kasvaa entisestään, koska tuotanto ja jalostus ovat keskittyneet vain muutamiin maihin ja yrityksiin. Tuotantoketjujen korvaaminen on teknisesti haastavaa, hidasta ja kallista, ja kierrätysjärjestelmät raaka-aineille ovat edelleen alkeellisia. Pitkittyneen saatavuushäiriön sattuessa Suomessakin voi tulla puutteita muun muassa tuulivoimaloiden, akkujen ja aurinkopaneelien kriittisistä tuotantopanoksista.

Kiihtyvän geopoliittisen kilpailun oloissa näitä haavoittuvuuksia voivat pahentaa entisestään tuottajamaiden asettamat vientirajoitukset tai vastatoimena toteutetut kauppasodan keinot. Kun puhtaiden energiateknologioiden laajeneminen kasvattaa kriittisten mineraalien maailmanlaajuisia kysyntää nopeasti, millä tahansa toimitusketjujen häiriöllä voi olla laaja-alaisia vaikutuksia eri toimialoille, mikä puolestaan heikentää sekä energiahuoltovarmuutta että ilmastotavoitteita.

Mahdolliset varautumistoimet raaka-aineiden osalta ovat osin samankaltaisia kuin lääkkeiden kohdalla. Esimerkiksi vaihtoehtoiset



toimitusketjut, tuotannon palauttaminen lähemmäs ja varmuusvarastointi voivat kaikki olla hyödyllisiä. Koska raaka-aineita käytetään useilla eri sektoreilla, kattavampi tilannekuva raaka-ainetarpeista voi auttaa koordinoimaan ja priorisoimaan resurssien käyttöä kokonaisuutena.

Kuva 19 näyttää tyypilannoitteisiin liittyvää tuotantoketjun häiriötä, jossa erityisen tärkeää on hahmottaa geopolittisia ja ilmastoon liittyviä yhteisvaikutuksia. Esimerkiksi tilanteessa, jossa ammoniakin tuonti Venäjältä loppuu kiristyvien sanktioiden seurauksena ja samalla Hormuzinsalmen meriliikenne pysyy lähes olemattomana, voi vaihtoehtoisella tuotantoalueella tapahtuva, hurrikaanin kaltainen

Kuva 19. Lannoitteiden tuotantoketjun häiriö. Lähde: Kirjoittajien analyysi.

laajamittainen ympäristövaikutus aiheuttaa merkittävän globaalin häiriön typpilannoitteiden tuotantoon.

Koska Suomessa riippuvuus tuontilannoitteista ja niiden raaka-aineista on suurta, valmius kotimaisen lannoitteen tuottamiseen ja hyödyntämiseen on vähäistä, ja toisaalta koska globaalit markkinat ovat keskittyneet, voivat häiriöiden vaikutukset voimistua tuotantoketjussa. Seurauksena voi olla muun muassa lannoitteiden toimitusten keskeytyminen ja hintojen nousu sekä niin Suomessa kuin muualla ilmenevät satotappiot ruoantuotannossa. Tämä voisi pahimmillaan heikentää Suomen ruokaturvaa, jos maataloustuotanto häiriintyy sekä meillä että samaan aikaan muualla Euroopassa.

Varautumisen osalta keinot keskittyvät jälleen haavoittuvuustekijöiden vaikutusten hallintaan pitkällä aikavälillä. Esimerkiksi vaihtoehtoisten toimitusketjujen selvittäminen, kotimaisen tuotannon lisääminen muun muassa ravinnekiertoa parantamalla, palkokasvien viljelyn lisääminen sekä toisaalta yritysten varautumisen tukeminen riskiarviolla voivat parantaa edellytyksiä selvittää häiriötilanteesta ja vähentää lannoiteriippuvuutta. Varmuusvarantojen hyödyntäminen auttaa vasteena kriisin iskiessä, mutta sen tarjoama helpotus on väistämättä lyhytaikainen.

Analyttinen viitekehys osoittaa, että ilmastoon liittyvien huoltovarmuusvaikutusten ennakointi ja niihin varautuminen on mahdollista, mutta se edellyttää jatkuvaa seuranta- ja riskien tunnistuskykyä ja tilannekuvan ylläpitämistä. Esimerkiksi häiriötilanteiden syiden parempi raportointi ja taustalla olevien ilmastoon liittyvien tekijöiden havainnointi voi auttaa tunnistamaan globaalisti ilmeneviä signaaleja ja varautumaan niiden mahdollisiin seurauksiin hyvissä ajoin. Yksi tällainen tekijä voisi olla esimerkiksi El Niño -ilmiö, joka lisää äärisäätilojen esiintymistä globaalin ruoan- ja teollisuustuotannon tärkeillä alueilla.

Varautumisen osalta vaikutusketjuanalyysi myös osoittaa, että ylivoimaisesti suurin osa mahdollisista varautumistoimista toteutuu pitkällä aikavälillä. Esimerkiksi globaalien riippuvuuksien vähentäminen kotimaista tuotantoa lisäämällä tai resurssien tarpeen vähentäminen niiden käyttöä tehostamalla ovat huoltovarmuuden kannalta hyödyllisiä toimia lähes millä tahansa alalla. Tällaiset toimet kuitenkin usein vaatisivat jopa järjestelmätason muutoksia tuotantorakenteissa, kuten lannoitteiden tapauksessa kotimaisen ravinnekierron parantamista. Tämä harvoin onnistuu lyhyellä aikavälillä tai osana vastetta, kun uhkat ovat jo toteutuneet. Osa pitkän aikavälin varautumistoimista, kuten resurssien käytön vähentäminen,

voivat myös herättää poliittista vastustusta. Ympäristökriisin edetessä kuitenkin yhä mittavammat toimet voivat olla välttämättömiä resilienssin turvaamiseksi.

Ennakoinnissa vaikutusketjuanalyysia voi käyttää apuna usealla tavalla. Ennen kaikkea se soveltuu osaksi eri aloilla tehtäviä riskianalyysyjä, jolloin sitä voi soveltaa samaan tapaan kuin yllä olevissa esimerkeissä muodostamalla mahdollisia vaikutusketjuja esimerkiksi yksittäisen tuotteen toimitusketjusta. Jo taulukon x mukaisen osatekijöistä koostuvan matriisin kokoaminen voi auttaa muodostamaan toimialalle tilannekuvaa ilmastoon liittyvistä riskeistä. Myös jo teutuneiden häiriötilanteiden tarkastelu viitekehyksen avulla voi olla hyödyllistä, sillä taaksepäin katsova analyysi voi auttaa tunnistamaan uusia mutta mahdollisesti tulevan varautumisen kannalta olennaisia osatekijöitä.

Vaikutusketjuanalyysiä voi myös käyttää vahvistamaan tietoa ja ymmärrystä ilmastoon liittyvistä riskeistä huoltovarmuustoiminnassa. Ympäristöön liittyviä riskejä ei vielä tunnisteta huoltovarmuusorganisaatiossa kokonaisvaltaisesti osana kaikkea ennakointia ja varautumista. Analyyttinen viitekehys voi tällöin toimia osana koulutuksia ja suunnittelu- ja kehitystyötä sekä keinoja hahmottaa ympäristön ja huoltovarmuuden yhtymäkohtia ja varautumismahdollisuuksia.

Loppupäätelmät ja suositukset

Ilmastonmuutos uhkaa Suomen huoltovarmuuden edellytyksiä ja lisää samanaikaisten kriisien ja häiriötilanteiden todennäköisyyttä. Vaikutukset kytkeytyvät yhä tiiviimmin geopoliittisiin jännitteisiin, taloudellisiin rakenteisiin ja vihreän siirtymän synnyttämiin uusiin riippuvuuksiin. Riskejä voi hillitä ja niihin on mahdollista varautua, mutta tämä edellyttää korkealaatuista ennakointia, tilannekuvaa ja ymmärrystä riskien taustalla olevista vaikutusketjuista.

Tässä raportissa käsitelty tapaustutkimukset (lääkehuolto, kriittiset raaka-aineet, lannoitteet ja energiajärjestelmän sähköistyminen) osoittavat, että eri sektorien haavoittuvuudet kytkeytyvät toisiinsa monin tavoin. Yhteisiä piirteitä näille ovat:

- tuotannon ja raaka-aineiden voimakas maantieteellinen keskittyminen
- riippuvuus rajallisesta määrästä toimittajia ja logistisia solmu-kohtia

- ilmastomuutoksen vaikutusten, kuten äärisäiden ja vesiriskien yhdistyminen taloudellisiin ja poliittisiin tekijöihin
- markkinarakenteisiin liittyvät haavoittuvuudet, kuten hinta-kilpailu ja tuotannon keskittyminen

Ilmastomuutos ei näyttäydy yksittäisenä riskinä vaan myös voimistaa olemassa olevia järjestelmäriskejä. Samanaikaisesti vihreä siirtymä muuttaa tuotantorakenteita ja resurssitarpeita tavalla, joka voi lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä lisätä huoltovarmuusriskejä, vaikka pitkällä aikavälillä se onkin välttämätön riskien hallitsemiseksi. Pelkkään lyhyen aikavälin huoltovarmuuden turvaamiseen keskittyminen voi kostautua, mikäli se tehdään tavoilla, jotka rapauttavat pitkän aikavälin resilienssiä. Nykyiset varautumisen rakenteet, kuten varmuusvarastointi ovat edelleen tärkeitä, mutta ne eivät yksin riitä vastaamaan pitkittyneisiin, monialaisiin ja samanaikaisiin häiriöihin. Tarvitaan järjestelmätason resilienssiä, joka perustuu ennakkointiin, hajauttamiseen, yhteistyöhön ja sopeutumiskykyyn.

Lisäksi raportti osoittaa, että ilmastomuutokseen liittyvät huoltovarmuusriskit kytkeytyvät laajempaan ekologiseen kriisiin. Ratkaisujen tulee olla kestäviä myös muiden ympäristöpaineiden näkökulmasta, jotta riskejä ei siirretä tai pahenneta toisaalla.

Alakohtaiset johtopäätökset ja suositukset on esitetty aikaisemmissa luvuissa kullekin tapaustutkimukselle erikseen. Lisäksi alla kuvataan yleisesti huoltovarmuuteen ja ilmastomuutokseen liittyviä keskeisiä huomioita ja toimintasuosituksia.

Useimmilta aloilta puuttuu jaettu tilannekuva ilmastomuutoksen, energiasiirtymän ja geopolittisten kriisien yhteisvaikutuksista huoltovarmuuteen.

Kokonaiskuva riskeistä ja varautumistarpeista on usein hajanainen, mikä heikentää edellytyksiä yhteiseen varautumistoimintaan. Esimerkiksi puutteellinen kuva eri sektorien raaka-ainetarpeista haittaa mahdollisuuksia politiikkatoimiin, joilla käyttökohteita voisi tarvittaessa priorisoida. Kokonaiskuvan ja suunnitelmallisuuden puute energiajärjestelmän sähköistymisestä voi puolestaan altistaa häiriötilanteille etenkin sähkön kysyntäpiikkien aikana. Puuttuva alakohtainen tilannekuva haittaa myös huoltovarmuuden suunnittelua koko yhteiskunnan tasolla.

Luonnonvarojen ylikulutus pahentaa huoltovarmuusriskejä.

Resurssi-intensiivinen kulutus merkitsee voimakasta riippuvuutta raaka-aineista ja hyödykkeistä ja usein myös tuonnista ulkomailta. Samalla se kiihdyttää ilmastonmuutosta, luontokatoa ja saastumista ja siten huventaa käytettävissä olevia luonnonvaroja. Ylikulutuksen suitsiminen ja resurssien käytön parempi kohdentaminen tukemaan elintärkeiden toimintojen ylläpitoa voi siten auttaa hallinnoimaan riskejä huoltovarmuudelle.

Vihreä siirtymä edistää irtautumista fossiilisten polttoaineiden tuonnista, mutta luo samalla uusia strategisia riippuvuuksia.

Energiamurros ja sääntelymuutokset antavat mahdollisuuden vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä, joka usein on perustunut tuontiin korkean geopoliittisen riskin maista kuten Venäjältä. Vihreä siirtymä myös kannustaa innovaatioihin kotimaisen, vähäpäästöisen energia- ja teollisuustuotannon kehittämisessä. Samalla se kuitenkin lisää riippuvuutta kriittisistä raaka-aineista, uusista teknologioista ja globaalien markkinoiden toimivuudesta. Yhteiskunnan sähköistäminen voi kasvattaa huoltovarmuus- ja turvallisuusriskejä, jos se toteutetaan suunnittelemattomasti. Siirtymä luo siten uusia riskejä, jotka on tärkeä tunnistaa ja pyrkiä hillitsemään.

Huoltovarmuustoiminta tarjoaa ilmastoon liittyviin riskeihin varautumiselle vahvan perustan, mutta edellyttää yhä syventämistä.

Suomen huoltovarmuus ja laajemmin kokonaisturvallisuuden toimintamalli ovat hyvin sovellettavissa ilmastoon liittyvien riskien hallintaan. Ilmasto- ja ympäristöriskit eivät kuitenkaan vielä näy kovin kokonaisvaltaisesti huoltovarmuuden suunnittelussa tai ennakoinnissa. Erityisesti sektorikohtaisia ketjuuntuvia ja siirtymäriskejä tunnetaan edelleen puutteellisesti, mikä haittaa niihin varautumista.

Nykyiset varautumiskeinot ovat osin riittämättömiä monikriisien hallintaan.

Perinteiset huoltovarmuuden työkalut, kuten varmuusvarastointi, ovat tehokkaita lyhytaikaisissa häiriöissä, mutta eivät yksin riitä pitkittyneissä ja päällekkäisissä kriiseissä. Pahimmillaan lyhyen aikavälin kriisinhallintatoimet voivat voimistaa esimerkiksi fossiilienergian hyödyntämiseen liittyviä haitallisia polkuriippuvuuksia, jotka voivat heikentää tulevaisuuden huoltovarmuutta. Tehokas varautuminen edellyttää sopeutuvaa varautumista, jonka avulla paitsi turvataan elintärkeiden toimintojen jatkuvuus, pystytään myös reagoimaan

muutoksiin ja kriiseihin joustavasti. Tapaustutkimusten analyysin perusteella tarvitaan erityisesti pidemmän aikavälin toimia erilaisten haavoittuvuustekijöiden vaikutusten hillitsemiseksi.

Pitkän aikavälin resilienssin varmistaminen edellyttää uudenlaista huoltovarmuusajattelua.

Huoltovarmuudessa keskitytään yhä ensisijaisesti säilyttämään nykyisiä tuotantorakenteita ja toimintoja ja turvaamaan niiden toimintaa lyhytaikaisten kriisien ja häiriötilanteiden yli. Tämä ei kuitenkaan riitä kroonisen sosioekologisen kriisin maailmassa, jossa häiriötilanteet saattavat olla toistuvia tai esimerkiksi jonkun tietyn resurssin saatavuuden suhteen pysyviä. Joskus olemassa olevat tuotantorakenteet voivat myös hidastaa vihreää siirtymää, jonka toteuttaminen edistäisi pitkän aikavälin resilienssiä. Huoltovarmuusorganisaatio ei voi yksin edistää vihreää siirtymää, mutta sen täytyy olla osa siirtymän toteuttamista.

Tutkimustietoa ilmastonmuutoksen huoltovarmuusvaikutuksista eri aloilla tarvitaan edelleen lisää.

Vaikka tietopohja ilmastonmuutoksen yhteiskunnallisista vaikutuksista tarkentuu jatkuvasti, on ymmärrys esimerkiksi yksittäisiin arvoketjuihin kohdistuvista seurauksista usein vielä puutteellista. Myöskään alakohtaisia tarkasteluja ketjuuntuvista ja siirtymävaikutuksista ei ole riittävästi tukemaan tehokkaita varautumistoimia. Tutkimustiedon puute haittaa osin myös kokonaiskuvan muodostamista huoltovarmuuden suunnittelun pohjaksi.

Suositukset

Vahvistetaan huoltovarmuusorganisaation tilannekuvaa ja ennakointia ilmastonmuutokseen liittyvien riskien osalta.

- Tunnistetaan vaikutusketjuanalyysin avulla indikaattoreita ilmastoon liittyvistä riskeistä ja otetaan ne systemaattisesti osaksi Huoltovarmuuskeskuksen ennakointia.
- Lisätään huoltovarmuuden asiantuntijoiden tietopohjaa ilmastoon liittyvistä huoltovarmuusriskeistä työpajoilla ja koulutuksilla.
- Tuodaan ympäristötekijät konkreettisesti osaksi huoltovarmuusorganisaation harjoitustoimintaa.
- Sisällytetään ilmastoon liittyvät riskit esimerkiksi vaikutusketjuanalyysin avulla entistä tiiviimmin osaksi skenaario- ja

stressitarkasteluja, jotka huomioivat samanaikaiset ja pitkittyvät häiriöt.

Parannetaan ilmastoon liittyvien riskien tunnistamista osana kansallista ennakkointia.

- Kehitetään yllirajaisia vaikutuksia huomioivaa ennakkointia, joka yhdistää ilmastolliset, geopoliittiset ja taloudelliset riskitekijät.
- Rakennetaan yhteistä tilannekuvaa ilmastoon liittyvistä riskeistä toimitusketjujen, riippuvuuksien ja häiriötilanteiden näkökulmasta esimerkiksi vaikutusketjuanalyysia hyödyntäen.
- Hyödynnetään skenaarioharjoituksia ja vaikutusketjuanalyysia erityisesti monikriisitilanteiden varalle.

Kehitetään toimialakohtaisesti ilmastoon liittyvien riskien tunnistamista ja varautumistoimia.

- Tunnistetaan alakohtaisesti keskeisiä ilmastoon liittyviä riskejä, riippuvuuksia ja pullonkauloja esimerkiksi osana huoltovarmuuden poolien ja sektorien toimintaa.
- Edistetään toimia, jotka parantavat läpinäkyvyyttä toimitusketjuissa, mukaan lukien alihankintaketjut ja kriittiset tuotantopanokset.
- Tunnistetaan kriittiset tuotantoprosessit ja tuetaan niiden sijoitumista Suomeen ja EU:hun (esim. kannustimet, investointituet).
- Kehitetään sektorikohtaisia jatkuvuudenhallinnan käytäntöjä, jotka huomioivat ilmastoriskit.
- Huolehditaan osaamisen, tutkimuksen ja teollisen infrastruktuurin säilymisestä Suomessa.
- Parannetaan tietoisuutta ilmastoon liittyvistä riskeistä eri toimialoilla esimerkiksi skenaarioharjoitusten avulla.

Osallistutaan ilmastoon liittyvien riskien ennakkointiin ja hallintaan EU-tasolla.

- Osallistutaan EU-tason yhteistyöhön kriittisten tuotteiden saatavuuden turvaamiseksi esimerkiksi yhteishankinnoilla ja strategisilla varastoilla.
- Tarkastellaan vihreään siirtymään liittyviä EU-tason sääntelykeinoja ja hyödynnetään niitä mahdollisuuksien mukaan huoltovarmuuden edistämiseen (esim. arvoketjuihin kohdistuvien riskien tunnistaminen yritystasolla).
- Hyödynnetään sisämarkkinoiden mittakaavaa toimitusvarmuuden parantamisessa.

Tarkastellaan huoltovarmuuden rakenteita ja muutostarpeita ympäristökriisin hallinnan ja vihreän siirtymän näkökulmasta.

- Tunnistetaan mahdollisia ristiriitoja lyhyen aikavälin huoltovarmuustoimien ja pitkäaikaisen resilienssin välillä.
- Pyritään estämään haitallisten ja kestäättömien polkuriippuvuuksien syntymistä huoltovarmuustoimia valittaessa.
- Selvitetään tarvetta kehittää huoltovarmuutta sopeutuvan varautumisen suuntaan kroonisen sosioekologisen kriisin hallitsemiseksi.
- Harjoitellaan monialaisia häiriötilanteita, joissa vaikutukset ketjuuntuvat sektorien välillä.

Edistetään vihreän siirtymän riskienhallintaa koko huoltovarmuusorganisaation tasolla.

- Tarkastellaan alakohtaisesti energiasiirtymän ja muiden ilmasto- toimien synnyttämiä uusia riippuvuuksia ja haavoittuvuuksia.
- Kootaan sektorikohtaiset raaka-ainetarpeet yhtenäiseksi, ajantasaiseksi tilannekuvaksi, joka mahdollistaa eri käyttökohteiden yhteensovittamisen ja ristiriitojen tunnistamisen ennakoivasti.
- Tunnistetaan vihreän siirtymän tarjoamia mahdollisuuksia haitallisten riippuvuuksien vähentämiseksi ja kotimaisen tuotannon lisäämiseksi.
- Edistetään kiertotaloutta ja materiaalitehokkuutta kriittisten raaka-aineiden kysynnän vähentämiseksi.

Hyödynnetään kokonaisturvallisuuden toimintamallin rakenteita ja koordinaatiomekanismeja huoltovarmuuden parantamiseksi.

- Syvennetään ilmasto- ja ympäristöriskien integrointia kokonaisturvallisuuden analyysiin ja suunnitteluun.
- Vahvistetaan julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyötä esimerkiksi tarjoamalla huoltovarmuuskriittisille yrityksille tietoa ja tukea toimitusketjujen häiriöihin varautumiseen.
- Tuodaan ilmasto- ja ympäristötekijöitä konkreettisemmin osaksi ennakoivaa riskien arviointia esimerkiksi vaikutusketju-analyysin avulla.
- Hyödynnetään kokonaisturvallisuuden harjoitustoimintaa ilmastoon liittyvien riskien tunnistamiseksi ja tietoisuuden lisäämiseksi.

Kirjoittajat

Emma Hakala on Ulkopoliittisen instituutin johtava tutkija Globaali turvallisuus ja hallinta -tutkimusohjelmassa sekä Ilmastopolitiikan ja -turvallisuuden tutkimuskeskuksessa. Hänen tutkimuksensa keskittyy ympäristöturvallisuuteen ja ilmastonmuutoksen geopolitiikkaan, kuten kansainvälisten toimijoiden rooliin ympäristöturvallisuuden käytäntöjen rakentajina. Hän johtaa syksyllä 2023 alkanutta Ilmastonmuutos ja Suomen huoltovarmuus (ILHU) -projektia.

Helmi Räisänen on tutkijatohtori Ulkopoliittisen instituutin Globaali turvallisuus ja hallinta -tutkimusohjelmassa sekä Ilmastopolitiikan ja -turvallisuuden tutkimuskeskuksessa. Hän työskentelee Emma Hakalan johtamassa ILHU-hankkeessa. Helmi on kriisienhallinnan ja ympäristöpolitiikan tutkija, joka tutkii viranomaisten varautumista erityisesti kroonistuviin sosioekologisiin kriiseihin. Hänen viimeaikaiset julkaisunsa ovat käsitelleet ilmastonmuutoksen vaikutuksia huoltovarmuuteen, kokonaisturvallisuutta ja vihreän siirtymän resurssipolitiikkaa. Räisänen on lisäksi kirjoittanut valmiusharjoituksista, pandemiavarautumisesta sekä Atlantin meridionaalisen kiertoliikkeen (AMOC) mahdollisen romahtamisen yhteiskunnallisista vaikutuksista.

Pekka Passi on energia-alan asiantuntija, jolla on yli 15 vuoden kokemus alan konsultoinnista. Hän on toiminut toimitusjohtajana muun muassa Kotkan Energialla sekä Vatajankoski Oy:ssä, ja hänen työnsä on painottunut energiayhtiöiden strategiseen kehittämiseen ja liiketoiminnan uudistamiseen. Passin asiantuntemus kattaa erityisesti energiamurroksen, energiainfrastruktuurin ja liiketoimintamallien kehittämisen muuttuvassa toimintaympäristössä.

Antti Majava on BIOS-tutkimusyksikön perustajajäsen ja toimii yksikössä energia- ja metsäsektoreiden asiantuntijana. Hän tarkastelee työssään erityisesti energiamurroksen vaikutuksia nettopäästöihin, sähkön toimitus- ja huoltovarmuuteen sekä aluetalouteen ja työllisyyteen. Lisäksi Majava tutkii monialaisten teollisten ekosysteemien energiaratkaisuja. BIOS-työnsä ohella Majava on toiminut Ylä- ja Itä-Kainuun vihreän siirtymän osaamiskeskuksen projektipäällikkönä sekä useissa muissa alueellisissa kehittämistehtävissä. Hän toteuttaa myös toimeksiantoja yrityksensä Käännekohta t&k Oy:n puitteissa sekä valmistelee väitöskirjaa Helsingin yliopiston monitieteisen ympäristötutkimuksen tohtoriohjelmassa.

Lähdeluettelo

- Aakkula, Jyrki, Titta Berlin, Xavier Irz, Csaba Jansik, Timo Karhula, Hannu Kiviranta, Arto Latukka, ym. 2019. "Mahdollisuudet helpottaa epäorgaanisten lannoitteiden tuontia." Maa- ja metsätalousministeriö. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:9. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161455>.
- Abbey, Richard. 2023. "Cobalt From Small-Scale Mines Key to Global Output, Study Finds." *Bloomberg.Com*, 8. helmikuuta. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-02-08/cobalt-from-small-scale-mines-key-to-global-output-study-finds>.
- Abir, Mahshid, Raffaele Vardavas, Zohan Hasan Tariq, Emily Hoch, Emily Lawson & Sydney Cortner. 2024. *Impact of Climate Change on Health and Drug Demand*. Rand. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA3425-1.html.
- Abnett, Kate & Philip Blenkinsop. 2026. "France, Italy Push to Exempt Fertilisers from EU Carbon Border Levy." *Reuters*, 7. tammikuuta <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/france-italy-push-exempt-fertilisers-eu-carbon-border-levy-2026-01-07/>.
- African Natural Resources Management and Investment Centre [ECNR]. 2025. "Critical Mineral Insights 6: Phosphate." African Natural Resources Management and Investment Centre. https://www.afdb.org/sites/default/files/documents/publications/phosphatefactsheet_nov28.pdf.
- Agricultural Market Information System [AMIS]. 2026. "About AMIS." *AMIS Agricultural Market Information System*. AMIS Agricultural Market Information System. <https://www.amis-outlook.org/about/overview>.
- Ahvo, Aino, Matias Heino, Vilma Sandström, Daniel Chrisendo, Mika Jalava & Matti Kumm. 2023. "Agricultural Input Shocks Affect Crop Yields More in the High-Yielding Areas of the World." *Nature Food* 4 (12): 1037–46. doi:10.1038/s43016-023-00873-z.
- Aittokoski, Heikki. 2025. "Poliittisten vankien joukkovapautus on riemun aihe, joka muistuttaa Valko-Venäjän toivorikkaista päivästä." *Helsingin Sanomat*, 13. joulukuuta. <https://www.hs.fi/maailma/art-2000011690315.html>.
- Akca, Erhan, Ulrike Aldrian, Christine Alewell, Erlisiana Anzalone, Andrea Arcidiacono, Cristina Arias Navarro, Apolline Auclerc, ym. 2024. "The State of Soils in Europe." Publications Office of the European Union. doi:10.2760/7007291.
- Al Jazeera. 2022. "Chinese Factories Close as Drought Hits Hydropower." *Al Jazeera*, 17. elokuuta. <https://www.aljazeera.com/economy/2022/8/17/chinese-factories-close-as-drought-hits-hydropower>.
- Ala-Lahti, Tellervo. 2024. "The Awkward Relations between EU Innovation Policies and Environmental Law." *Review of European, Comparative & International Environmental Law* 33 (3): 438–51. doi:10.1111/reel.12567.
- Ala-Lahti, Tellervo & Topi Turunen. 2025. "Ympäristölupamenettelyn Sujuvoittamisen Ulottuvuudet – Strategiset Hankkeet Osana Vihreää Siirtymää." *Ympäristöjuridiikka* 2025 (1–2): 7–35.
- Alfaro, Laura & Davin Chor. 2023. "Friendshoring? Nearshoring? Reshoring? How the U.S. Trade Relationship With." Stanford Center on China's Economy and Institutions. https://fsi9-prod.s3.us-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/2024-11/great_reallocation_11.15.24.pdf.
- Al-Shihabi, Fatima, Anna Moore & Tahseen A. Chowdhury. 2023. "Diabetes and Climate Change." *Diabetic Medicine* 40 (3): e14971. doi:10.1111/dme.14971.
- Alum, Esther Ugo. 2024. "Climate Change and Its Impact on the Bioactive Compound Profile of Medicinal Plants: Implications for Global Health." *Plant Signaling & Behavior* 19 (1): 2419683. doi:10.1080/15592324.2024.2419683.
- Ammonia Europe. 2025. "Production." *Ammonia Europe*. <https://www.ammoniaeurope.com/about-ammonia/production/>.

- Arora, Neha. 2025. "India to Formalise Incentives for Critical Minerals Recycling This Year, Sources Say." *Reuters*, 8. huhtikuuta. <https://www.reuters.com/sustainability/land-use-biodiversity/india-formalise-incentives-critical-minerals-recycling-this-year-sources-say-2025-04-08/>.
- Auvinen, Karoliina. 2020. "Aurinkoenergian vertailuhintoja." *Finsolar aurinkoenergiatietoa*. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkoenergian-vertailuhintoja-2/>.
- Awuah, Michael Amoah. 2019. "Raw Materials Diplomacy and Extractives Governance: The Influence of the EU on the African Extractive Industry Space." *South African Journal of International Affairs*. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10220461.2019.1608852>.
- Azadi, Mehdi, Stephen A. Northey, Saleem H. Ali & Mansour Edraki. 2020. "Transparency on Greenhouse Gas Emissions from Mining to Enable Climate Change Mitigation." *Nature Geoscience* 13 (2): 100–104. doi:10.1038/s41561-020-0531-3.
- Bailey, Rob & Laura Wellesley. 2017. "Chokepoints and Vulnerabilities in Global Food Trade." The Royal Institute of International Affairs. Chatham House Report. <https://www.chathamhouse.org/2017/06/chokepoints-and-vulnerabilities-global-food-trade>.
- Baker, Justin, Nathan Schunk, Matt Scholz, Ashton Merck, Rebecca Logsdon Muenich, Paul Westerhoff, James J. Elser, ym. 2024. "Global-to-Local Dependencies in Phosphorus Mass Flows and Markets: Pathways to Improving System Resiliency in Response to Exogenous Shocks." *Environmental Science & Technology Letters* 11 (6): 493–502. doi:10.1021/acs.estlett.4c00208.
- Baldwin, Richard & Rebecca Freeman. 2022. "Risks and Global Supply Chains: What We Know and What We Need to Know." *Annual Review of Economics* 14 (1): 153–80. doi:10.1146/annurev-economics-051420-113737.
- Baltic Sea System Development Steering Committee. 2022. "Nordic and Baltic Sea Winter Power Balance 2022–2023." Baltic Sea System Development Steering Committee. Regional adequacy working group under Baltic Sea System Development Steering Committee: AST, Elering, Energinet, Litgrid, Fingrid, Statnett, Svenska kraftnät, 50hertz. <https://www.statnett.no/contentassets/d1d95f74fbc544b2bf33f86e58078df8/nordic-and-baltic-sea-winter-power-balance-2022-2023-report.pdf>.
- Baptista, Eduardo, Marco Aquino & Lucinda Elliott. 2024. "Starting Latin America Trip, Xi Jinping Opens Huge Port in Peru Funded by China." *Reuters*, 15. marraskuuta. <https://www.reuters.com/world/chinas-xi-arrives-lima-apec-open-pacific-mega-port-2024-11-14/>.
- Baskaran, Gracelin & Meredith Schwartz. 2024. "China's Antimony Export Restrictions: The Impact on U.S. National Security." *Center for Strategic and International Studies*. <https://www.csis.org/analysis/chinas-antimony-export-restrictions-impact-us-national-security>.
- . 2025. "G7 Cooperation to De-Risk Minerals Investments in the Global South." *Center for Strategic and International Studies*. <https://www.csis.org/analysis/g7-cooperation-de-risk-minerals-investments-global-south>.
- Bavumiragira, Jean Pierre, Iyobosa Eheneden, Hailong Yin, Anne Wambui Mumbi, Gerald D. S. Quoie, Pascaline Uyisaba, Rongchang Wang & Jianfu Zhao. 2024. "Insight on Prioritization of Antibiotics in China, Their Occurrence, and Removal by Different Wastewater Treatment Technologies." *Discover Environment* 2 (1): 28. doi:10.1007/s44274-024-00047-z.
- Bearak, Max, Harry Stevens & Eric Lipton. 2025. "Trump Takes a Major Step Toward Seabed Mining in International Waters." *The New York Times*, 24. huhtikuuta. <https://www.nytimes.com/2025/04/24/climate/trump-seabed-mining.html>.
- Beaulieu, Jake J., Tonya DelSontro & John A. Downing. 2019. "Eutrophication Will Increase Methane Emissions from Lakes and Impoundments during the 21st Century." *Nature Communications* 10 (1): 1375. doi:10.1038/s41467-019-09100-5.
- Beghin, John C. & Lia Nogueira. 2021. "A Perfect Storm in Fertilizer Markets." <https://ageconsearch.umn.edu/record/316020>.
- Bellois, Grégoire. 2022. "The Impacts of Climate Change on the Mining Sector." Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development. <https://www.iisd.org/system/files/2023-09/impacts-climate-change-mining-sector.pdf>.
- Bellois, Grégoire & Isabelle Ramdoo. 2023. "Searching for Critical Minerals? How Metals Are Produced and Associated Together." The International Institute for Sustainable Development. <https://www.iisd.org/system/files/2023-04/searching-critical-minerals-how-metals-are-produced-together.pdf>.
- Benson, Emily & Thibault Denamiel. 2023. "China's New Graphite Restrictions." *Center for Strategic and International Studies*. <https://www.csis.org/analysis/chinas-new-graphite-restrictions>.
- Benson, Emily & Gloria Sicilia. 2023. "A Closer Look at De-Risking." Center for Strategic and International Studies. <https://www.csis.org/analysis/closer-look-de-risking>.
- Benzie, Magnus, Oskar Wallgren & Marion Davis. 2013. *Adaptation without Borders?: How Understanding Indirect Impacts Could Change Countries' Approach to Climate Risks*. Stockholm Environment Institute. <https://www.jstor.org/stable/resrep00378>.

- Berner. 2024. "Belor Agro siirtyy Bernerille - lannoiteliiketoiminta ennallaan." Berner. <https://viljelijanberner.fi/blog/post/belor-agro-oy-toiminta-siirtyy-bernerin-nimiin-142024-alkaen-lannoiteliiketoiminta-jatkuu-ennalla>.
- Bhattarai, Nishan, David B. Lobell, Balwinder-Singh, Ram Fishman, William P. Kustas, Yadu Pokhrel & Meha Jain. 2023. "Warming Temperatures Exacerbate Groundwater Depletion Rates in India." *Science Advances* 9 (35): eadi1401. doi:10.1126/sciadv.adi1401.
- Bian, Lei, Simon Dikau, Hugh Miller, Roberta Pierfederici, Nicholas Stern & Bob Ward. 2024. "China's Role in Accelerating the Global Energy Transition through Green Supply Chains and Trade." The Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/chinas-role-in-accelerating-the-global-energy-transition-through-green-supply-chains-and-trade/>.
- Bindman, Polly. 2023. "Weekly Data: China Doubles down on Overseas Investment in Critical Minerals." *Energy Monitor*. <https://www.energymonitor.ai/sectors/industry/weekly-data-china-seeks-to-extend-its-critical-minerals-dominance-with-overseas-investment-surge/>.
- BIODIFUL. 2024. "Luonnon köyhtyminen vaarantaa turvallisuutemme. Poliittikkasuositus 1." <https://biodiful.fi/wp-content/uploads/2024/02/BIODIFUL-politiikkasuositus-turvallisuus-2024.pdf>.
- BIOS. 2023. "Mitä on vetytalous?" *BIOS-tutkimusyksikkö*, 28. elokuuta. <https://bios.fi/mita-on-vetytalous/>.
- Black, James E. 2022. "The Utility of Planned Deprescribing in Pandemics and Other Disasters: A Systematic Review." *CNS Spectrums* 27 (2): 253–54. doi:10.1017/S1092852922000682.
- Blanco, Jimena & Jess Middleton. 2025. "Emerging Markets Exerting More Control over Strategic Minerals." *Verisk Maplecroft*. 14. maaliskuuta. <https://www.maplecroft.com/solutions/consulting/political-risk/insights/emerging-markets-exerting-more-control-over-strategic-minerals/>.
- Blenkinsop, Philip. 2025. "EU Lawmakers Back Huge Tariffs for Russia, Belarus Fertiliser." *Reuters*, 22. toukokuuta. <https://www.reuters.com/markets/commodities/eu-lawmakers-back-huge-tariff-hike-russia-belarus-fertiliser-2025-05-22/>.
- Bloomberg News. 2024. "Chinese Solar Firm Forced Into Bankruptcy as Supply Glut Bites." *Bloomberg*, 30. heinäkuuta. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-07-30/chinese-solar-firm-forced-into-bankruptcy-as-supply-glut-bites>.
- BloombergNEF. 2023. "Green Hydrogen to Undercut Gray Sibling by End of Decade." *BloombergNEF*, 9. elokuuta. <https://about.bnef.com/insights/clean-energy/green-hydrogen-to-undercut-gray-sibling-by-end-of-decade/>.
- . 2025. "Global Cost of Renewables to Continue Falling in 2025 as China Extends Manufacturing Lead: BloombergNEF." *BloombergNEF*, 6. helmikuuta. <https://about.bnef.com/insights/clean-energy/global-cost-of-renewables-to-continue-falling-in-2025-as-china-extends-manufacturing-lead-bloombergnef/>.
- Bobba, Silvia, Samuel Carrara, Jaco Huisman, Fabrice Mathieux & C. Pavel. 2020. "Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study." European Union. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMS_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf.
- Børger, Line, Karoline Mangor, Laura Virtanen & Eva Rytter Sunesen. 2023. "Finland's Dependence on Imports of Materials in the Twin Transition." Business Finland.
- Bradsher, Keith. 2010. "China Said to Widen Its Embargo of Minerals." *The New York Times*, 19. lokakuuta. <https://www.nytimes.com/2010/10/20/business/global/20rare.html>.
- . 2014. "Shake-Up on Opium Island." *The New York Times*, 19. heinäkuuta. <https://www.nytimes.com/2014/07/20/business/international/tasmania-big-supplier-to-drug-companies-faces-changes.html>.
- . 2024. "China Rules Solar Energy, but Its Industry at Home Is in Trouble." *The New York Times*, 25. heinäkuuta. <https://www.nytimes.com/2024/07/25/business/china-solar-energy.html>.
- Braithwaite, Jeffrey, Carolyn L. Smith, Elle Leask, Shalini Wijekulasuriya, Kalissa Brooke-Cowden, Georgia Fisher, Romika Patel, ym. 2024. "Strategies and Tactics to Reduce the Impact of Healthcare on Climate Change: Systematic Review." *BMJ* 387: e081284. doi:10.1136/bmj-2024-081284.
- Breslin, Shaun, Liisa Kaupila & Elina Sinkkonen. 2024. "Is 'De-Risking' Possible? Responding to China Related Economic Insecurities." EuroHub4Sino. EuroHub4Sino Policy Paper 2024/4. <https://eh4s.eu/publication/is-de-risking-possible-responding-to-china-related-economic-insecurities>.
- Brião, Giani de Vargas, Meuris Gurgel da Silva & Melissa Gurgel Adeodato Vieira. 2022. "Adsorption Potential for the Concentration and Recovery of Rare Earth Metals from NdFeB Magnet Scrap in the Hydrometallurgical Route: A Review in a Circular Economy Approach." *Journal of Cleaner Production* 380: 135112. doi:10.1016/j.jclepro.2022.135112.
- Brownlie, Will J., Mark A. Sutton, Dana Cordell, Dave S. Reay, Kate V. Heal, Paul J. A. Withers, Isabelle Vanderbeck & Bryan M. Spears. 2023. "Phosphorus Price Spikes: A Wake-up Call for Phosphorus Resilience." *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7. doi:10.3389/fsufs.2023.1088776.

- Brumfiel, Geoff, Scott Neuman & Camila Domonoske. 2024. "A Tiny Town Just Got Slammed by Helene. It Could Massively Disrupt the Tech Industry." *NPR*, 1. lokakuuta. <https://www.npr.org/2024/09/30/nx-s1-5133462/hurricane-helene-quartz-microchips-solar-panels-spruce-pine>.
- Buchanan Ponczek, Cordelia. 2025. "Minerals Diplomacy as Geoeconomic Statecraft: Implications for Resource Security Priorities in a Rapidly Changing World." Finnish Institute of International Affairs. FIIA Briefing Paper 419. https://fiia.fi/wp-content/uploads/2025/10/BP419_Minerals-diplomacy-as-geoeconomic-statecraft.pdf.
- Business & Human Rights Resource Centre. 2025. "Transition Minerals Tracker." *Business & Human Rights Resource Centre*. <https://www.business-humanrights.org/en/from-us/transition-minerals-tracker/>.
- Buxton, Abbi. 2013. "Responding to the Challenge of Artisanal and Small-Scale Mining. How Can Knowledge Networks Help?" <https://www.iied.org/16532iied>.
- Bye, Hilde-Gunn & Birgitte Annie Hansen. 2023. "Industrial Adventure in Northern Sweden: Investments of Over SEK 1000 Billion in the Coming Years." *High North News*. 24. tammikuuta. <https://en.highnorthnews.com/business/industrial-adventure-in-northern-sweden-investments-of-over-sek-1000-billion-in-the-coming-years/106329>.
- Cambou, Dorothée, Martin Fougère, Heidi Herlin, Neema Komba, Amin Maghsoudi, Mikko Rajavuori, Elina Sagne-Ollikainen, Juho Saloranta & Nikodemus Solitander. 2025. "The Cumulative Effects of EU Sustainability Legislation (CEULA): Impacts on Finnish Firms." 27. tammikuuta. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/166062>.
- Canon, Gabrielle. 2026. "What Is a 'Super El Niño' and What Might It Mean for the Global Climate?" *The Guardian*, 24. huhtikuuta. <https://www.theguardian.com/environment/2026/apr/23/down-to-earth-super-el-nino-extreme-weather>.
- Carbon Disclosure Project [CDP]. 2020. "In Too Deep: Analysis for Institutional Investors of Critical Water Security Issues Facing the Metals and Mining Sector." Carbon Disclosure Project. https://cdn.cdp.net/cdp-production/cms/reports/documents/000/004/613/original/cdp_Metals_and_mining_report_2019.pdf?1561049112.
- Carbon Trust. 2024. "CBAM: What It Means for Businesses across Europe." *Carbon Trust*, 8. marraskuuta. <https://www.carbontrust.com/en-eu/our-work-and-impact/guides-reports-and-tools/cbam-what-it-means-for-businesses-across-europe>.
- Carrara, Samuel, Silvia Bobba, Darina Blagoeva, DIAS Patricia Alves, Alessandro Cavalli, Konstantinos Georgitzikis, Milan Grohol, ym. 2023. *Supply Chain Analysis and Material Demand Forecast in Strategic Technologies and Sectors in the EU – A Foresight Study*. JRC132889. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2760/386650.
- Carter, Timothy R., Magnus Benzie, Emanuele Campiglio, Henrik Carlsen, Stefan Fronzek, Mikael Hildén, Christopher P. O. Reyer & Chris West. 2021. "A Conceptual Framework for Cross-Border Impacts of Climate Change." *Global Environmental Change* 69: 102307. doi:10.1016/j.gloenvcha.2021.102307.
- Cary, Phoebe. 2025. "Global Ammonia Market Faces Turbulence Amid Supply Cuts and Geopolitical Strains– June 2025." *Chemanalyst News*, 17. kesäkuuta. <https://www.chemanalyst.com/NewsAndDeals/NewsDetails/ammonia-market-faces-turbulence-amid-supply-cuts-and-geopolitical-strains-37388>.
- cbs News. 2025. "Imports of Computer Chips, Pharmaceuticals Probed by Trump Administration." *CBS News*, 15. huhtikuuta. <https://www.cbsnews.com/news/chip-pharmaceutical-imports-probe-trump-administration/>.
- Center for Preventive Action. 2025. "Conflict in the Democratic Republic of Congo." *Global Conflict Tracker*. <https://www.cfr.org/global-conflict-tracker/conflict/violence-democratic-republic-congo>.
- CF Industries Holdings. 2021. "CF Industries Holdings, Inc. Commences Restart of Production at Donaldsonville Complex." *CF*. <https://ir.cfindustries.com/Investors/news/news-details/2021/CF-Industries-Holdings-Inc.-Commences-Restart-of-Production-at-Donaldsonville-Complex/default.aspx>.
- Chan, Faith Ka Shun, Amelie Paszkowski, Zilin Wang, Xiaohui Lu, Gordon Mitchell, Duc Dung Tran, Jeroen Warner, ym. 2024. "Building Resilience in Asian Mega-Deltas." *Nature Reviews Earth & Environment* 5 (7): 522–37. doi:10.1038/s43017-024-00561-x.
- Chandna, Himani. 2021. "China Targeting India? Import Costs of Paracetamol, Antibiotics Ingredients See 100% Jump." *ThePrint*, 12. maaliskuuta. <https://theprint.in/health/china-targeting-india-import-costs-of-paracetamol-antibiotics-ingredients-see-100-jump/619914/>.
- Chandrasekhar, Aruna, Ayesha Tandon, Daisy Dunne, Josh Gabbatiss, Orla Dwyer & Molly Lempriere. 2026. "Q&A: What Does the Iran War Mean for the Energy Transition and Climate Action?" *Carbon Brief*, 10. maaliskuuta. <https://www.carbonbrief.org/qa-what-does-the-iran-war-mean-for-the-energy-transition-and-climate-action/>.

- Chaturvedi, Ipshita & Natasha Kavalakkat. 2023. "A Case for the Global Governance of AMR by Regulating the Pharmaceutical Supply Chain." Teoksessa *Steering Against Superbugs: The Global Governance of Antimicrobial Resistance*, toim. Olivier Rubin, Erik Baekkeskov & Louise Munkholm, 239–252. Oxford University Press. doi:10.1093/oso/9780192899477.003.0017.
- Cheng, Anthony L., Erica R. H. Fuchs, Valerie J. Karplus & Jeremy J. Michalek. 2024. "Electric Vehicle Battery Chemistry Affects Supply Chain Disruption Vulnerabilities." *Nature Communications* 15 (1): 2143. doi:10.1038/s41467-024-46418-1.
- China Power Team. 2021. "Will the Dual Circulation Strategy Enable China to Compete in a Post-Pandemic World?" *Center for Strategic and International Studies*, 15. joulukuuta. <https://chinapower.csis.org/china-covid-dual-circulation-economic-strategy/>.
- Chow, Emily & Dominique Patton. 2022. "China Issues Phosphate Quotas to Rein in Fertiliser Exports - Analysts." *Reuters*, 15. heinäkuuta. <https://www.reuters.com/markets/commodities/china-issues-phosphate-quotas-rein-fertiliser-exports-analysts-2022-07-15/>.
- Chowdhury, Rubel Biswas, Graham A. Moore, Anthony J. Weatherley & Meenakshi Arora. 2017. "Key Sustainability Challenges for the Global Phosphorus Resource, Their Implications for Global Food Security, and Options for Mitigation." *Journal of Cleaner Production*, 140: 945–63. doi:10.1016/j.jclepro.2016.07.012.
- Clapp, Jennifer. 2023. "Concentration and Crises: Exploring the Deep Roots of Vulnerability in the Global Industrial Food System." *The Journal of Peasant Studies* 50 (1): 1–25. doi:10.1080/03066150.2022.2129013.
- Clayton, Susan. 2021. "Climate Change and Mental Health." *Current Environmental Health Reports* 8 (1): 1–6. doi:10.1007/s40572-020-00303-3.
- Cogan, Deirdre, Karrar Karrar & Jayasree K. Iyer. 2018. "Shortages, Stockouts and Scarcity: The Issues Facing the Security of Antibiotic Supply and the Role for Pharmaceutical Companies." Access to Medicine Foundation. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/searo/amr/white-paper-antibiotic-shortages-stockouts-and-scarcity-2018.pdf?sfvrsn=b75e416d_2.
- Cohen, Charles & Sofia Sanchez Manzanaro. 2025. "How a Fertiliser Crunch Made Europe's Defence Industry More Vulnerable." *Euractiv*, 6. elokuuta. <https://www.euractiv.com/news/how-a-fertiliser-crunch-made-europes-defence-industry-more-vulnerable/>.
- Cohen, Jared, Wilson Shirley & Klara Svensson. 2023. "Resource Realism: The Geopolitics of Critical Mineral Supply Chains." *Goldman Sachs*, 13. syyskuuta. <https://www.goldmansachs.com/insights/articles/resource-realism-the-geopolitics-of-critical-mineral-supply-chains>.
- Congressional-Executive Commission on China. 2023. "From Cobalt to Cars: How China Exploits Child and Forced Labor in the Congo." *Congressional-Executive Commission on China*, 14. marraskuuta. <http://www.cecc.gov/events/hearings/from-cobalt-to-cars-how-china-exploits-child-and-forced-labor-in-the-congo>.
- Cooper, Kevin M., Connor McMahon, Ian Fairweather & Christopher T. Elliott. 2015. "Potential Impacts of Climate Change on Veterinary Medicinal Residues in Livestock Produce: An Island of Ireland Perspective." *Trends in Food Science & Technology* 44 (1): 21–35. doi:10.1016/j.tifs.2014.03.007.
- Cordell, Dana & Stuart White. 2014. "Life's Bottleneck: Sustaining the World's Phosphorus for a Food Secure Future." *Annual Review of Environment and Resources* 39 (Volume 39, 2014): 161–88. doi:10.1146/annurev-environ-010213-113300.
- Cottrell, Richard S., Kirsty L. Nash, Benjamin S. Halpern, Tomas A. Remenyi, Stuart P. Corney, Aysha Fleming, Elizabeth A. Fulton, ym. 2019. "Food Production Shocks across Land and Sea." *Nature Sustainability* 2 (2): 130–37. doi:10.1038/s41893-018-0210-1.
- Council of the European Union. 2025. "Trade: EU Adopts New Tariffs on Russian and Belarusian Agricultural Goods and Fertilisers." <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2025/06/12/trade-eu-adopts-new-tariffs-on-russian-and-belarusian-agricultural-goods-and-fertilisers/>.
- Council Regulation EU 2022/576. Council Regulation (EU) 2022/576 of 8 April 2022 amending Regulation (EU) No 833/2014 concerning restrictive measures in view of Russia's actions destabilising the situation in Ukraine. <http://data.europa.eu/eli/reg/2022/576/2022-04-08>.
- Council Regulation EU 2021/1030. Council Regulation (EU) 2021/1030 of 24 June 2021 amending Regulation (EC) No 765/2006 concerning restrictive measures in respect of Belarus. <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1030/oj>.
- Cozzi, Laura & Apostolos Petropoulos. 2024. "suvs Are Setting New Sales Records Each Year – and so Are Their Emissions." *IEA*. 28. toukokuuta. <https://www.iea.org/commentaries/suvs-are-setting-new-sales-records-each-year-and-so-are-their-emissions>.
- Crippa, M., D. Guizzardi, F. Pagani, M. Banja, M. Muntean, E. Schaaf, W. Becker, ym. 2023. "GHG Emissions of All World Countries." Publications Office of the European Union. doi:10.2760/953322.
- Crippa, M., E. Solazzo, D. Guizzardi, F. Monforti-Ferrario, F. N. Tubiello & A. Leip. 2021. "Food Systems Are Responsible for a Third of Global Anthropogenic GHG Emissions." *Nature Food* 2 (3): 198–209. doi:10.1038/s43016-021-00225-9.

- Crownhart, Casey. 2024. "China Banned Exports of a Few Rare Minerals to the us. Things Could Get Messier." *MIT Technology Review*, 12. joulukuuta. https://www.technologyreview.com/2024/12/12/1108568/china-export-bans/?utm_medium=tr_social&utm_source=bsky&utm_campaign=site_visitor.unpaid_engagement.
- Curtis, Emma, Joely Virzi & Caitlin Welsh. 2026. "Chokepoint: How the War with Iran Threatens Global Food Security." *Center for Strategic & International Studies*, 3. marraskuuta. <https://www.csis.org/analysis/chokepoint-how-war-iran-threatens-global-food-security>.
- Daalen, Kim R. van, Cathryn Tonne, Jan C. Semenza, Joacim Rocklöv, Anil Markandya, Niheer Dasandi, Slava Jankin, ym. 2024. "The 2024 Europe Report of the Lancet Countdown on Health and Climate Change: Unprecedented Warming Demands Unprecedented Action." *The Lancet Public Health* 9 (7): e495–522. doi:10.1016/S2468-2667(24)00055-0.
- Dai, Ran, Jinlong Huang, Ziyang Chen, Jian Zhou & Peni Hausia Havea. 2024. "Impacts of Anthropogenic Climate Change on Meteorological Drought in China." *Frontiers in Earth Science* 12. doi:10.3389/feart.2024.1369523.
- Damen, Mario. 2022. "EU Strategic Autonomy 2013-2023: From Concept to Capacity." European Parliamentary Research Service. EU Strategic Autonomy Monitor. Briefing. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733589/EPRS_BRI\(2022\)733589_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733589/EPRS_BRI(2022)733589_EN.pdf).
- Deb, Trishita. 2025. "Global Ripple Effects of Trump's 'Most Favored Nation' Drug Pricing Order." *MarketUs Media*, 15. toukokuuta. <https://media.market.us/global-ripple-effects-of-trumps-most-favored-nation-drug-pricing-order/>.
- DebRoy, Tarasankar, Todd A. Palmer, John W. Elmer & Tuhin Mukherjee. 2025. "Metals Are Key to the Global Economy — but Three Challenges Threaten Supply Chains." *Nature* 646 (8085): 547–49. doi:10.1038/d41586-025-03312-0.
- DeCoff, Sean. 2022. "Copper Discoveries – Declining Trend Continues." *S&P Global Market Intelligence*, 31. toukokuuta. <https://www.spglobal.com/market-intelligence/en/news-insights/research/copper-discoveries-declining-trend-continues>.
- DelSontro, Tonya, Jake J. Beaulieu & John A. Downing. 2018. "Greenhouse Gas Emissions from Lakes and Impoundments: Upscaling in the Face of Global Change." *Limnology and Oceanography Letters* 3 (3): 64–75. doi:10.1002/lol2.10073.
- Destia. 2022. "Kriittisten kuljetusvirtojen muutokset Suomessa, Suomesta ja Suomeen." Huoltovarmuusorganisaation maakuljetuspooli. <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/8c98a77410a2bf278e16a7bd333818543dd4a4ca/kriittisten-kuljetusvirtojen-muutokset-loppuraportti-julkainen-003.pdf>.
- Di Sario, Federica. 2024. "EU Finalizes Green Tech Bill, Responding to us Effort." *POLITICO*, 6. helmikuuta. <https://www.politico.eu/article/europe-net-zero-industry-act-climate-change-green-technology/>.
- Dijk, Kimo C. van, Jan Peter Lesschen & Oene Oenema. 2016. "Phosphorus Flows and Balances of the European Union Member States." *Science of The Total Environment*, Special Issue on Sustainable Phosphorus Taking stock: Phosphorus supply from natural and anthropogenic pools in the 21st Century, 542: 1078–93. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.08.048.
- Directive EU 2024/3019. Directive (EU) 2024/3019 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2024 concerning urban wastewater treatment. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/3019/oj/eng>.
- Directorate-General for Agriculture and Rural Development. 2023. "Commission Calls for Applications to Join the Upcoming EU Fertilisers Market Observatory." *European Commission*. 16. maaliskuuta. https://agriculture.ec.europa.eu/media/news/commission-calls-applications-join-upcoming-eu-fertilisers-market-observatory-2023-03-16_en.
- Directorate-General for Environment. 2023. "New Law on More Sustainable, Circular and Safe Batteries Enters into Force." *European Commission*, 17. elokuuta. https://environment.ec.europa.eu/news/new-law-more-sustainable-circular-and-safe-batteries-enters-force-2023-08-17_en.
- Directorate-General for Health and Food Safety [DG SANTE], Milieu Law and Policy Consulting, Technopolis Group & Ecorys BV. 2021. "Future-Proofing Pharmaceutical Legislation: Study on Medicine Shortages: Final Report (Revised)." Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2875/211485>.
- Dixon, Mary, Carley Rohrbach, Antisar Afkairin & Jorge Vivanco. 2022. "Impacts of the Green Revolution on Rhizosphere Microbiology Related to Nutrient Acquisition." *Applied Microbiology* 2 (4): 992–1003. doi:10.3390/applmicrobiol2040076.
- Dobson, Rylan. 2021. "Diagnosing Current and Future Water Risks Facing the Pharmaceutical Sector." *wwf*. https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/case_study___diagnosing_water_risks_for_the_pharmaceutical_sector_1.pdf.
- Dobson, Rylan & Sarah Argoud. 2023. "WWF Case Study – Assessing Water Risks of Commodities." *WWF & AstraZeneca*. https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/astrazeneca_water_risk_commodities_case_study_hr.pdf.
- Dolgin, Elie. 2025. "How Political Attacks Could Crush the mRNA Vaccine Revolution." *Nature* 641 (8063): 580–82. doi:10.1038/d41586-025-01462-9.

- Donnellon-May, Genevieve. 2023. "What Norway Might Learn from Nauru after a Massive Phosphate Find." *The Interpreter*. Lowy Institute.19. <https://www.loyyinstitute.org/the-interpreter/what-norway-might-learn-nauru-after-massive-phosphate-find>.
- Drugmand, Dana, Steven Feit, Lili Fuhr & Carroll Muffett. 2022. "Fossils, Fertilizers, and False Solutions: How Laundering Fossil Fuels in Agrochemicals Puts the Climate and the Planet at Risk." Center for International Environmental Law. <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2022/10/Fossils-Fertilizers-and-False-Solutions.pdf>.
- Dunne, Daisy. 2020. "Nitrogen Fertiliser Use Could 'Threaten Global Climate Goals.'" *Carbon Brief*, 7. lokakuuta. <https://www.carbonbrief.org/nitrogen-fertiliser-use-could-threaten-global-climate-goals/>.
- dw. 2024. "What If Russia Blocks the Export of Its Raw Materials?" *Dw.Com*. <https://www.dw.com/en/what-if-russia-blocks-the-export-of-its-raw-materials/a-70414246>.
- Dwyer, Orla. 2024. "Five Charts: How Climate Change Is Driving up Food Prices around the World." *Carbon Brief*, 23. elokuuta. <https://www.carbonbrief.org/five-charts-how-climate-change-is-driving-up-food-prices-around-the-world/>.
- Eavis, Peter. 2026. "U.S.-Israeli Attacks on Iran Disrupt Shipping in the Red Sea." *The New York Times*, 1. maaliskuuta. <https://www.nytimes.com/2026/03/01/world/middleeast/maersk-red-sea-iran-war.html>.
- Eilu, Pasi, Terje Bjerkgård, Hjalti Franzson, Håvard Gautneb, Tuulia Häkkinen, Erik Jonsson, Jakob Kløve Keiding, ym. 2021. "The Nordic Supply Potential of Critical Metals and Minerals for a Green Energy Transition." Nordic Innovation. Nordic Innovation Report. <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1593571/FULLTEXT02>.
- Ekholm, Virpi. 2023. "Fimea valvoo laitteita laastareista hengityskoneisiin." *Sic! Fimea*, 4. toukokuuta. <https://sic.fimea.fi/-/fimea-valvoo-laitteita-laastareista-hengityskoneisiin>.
- . 2024. "Ilmoitettu laitos varmistaa, että lääkinnällinen laite on toimiva ja turvallinen." *Sic! Fimea*, 2. helmikuuta. <https://sic.fimea.fi/-/ilmoitettu-laitos-varmistaa-etta-laakinnallinen-laite-on-toimiva-ja-turvallinen>.
- Ellis-Petersen, Hannah. 2020. "India Limits Medicine Exports after Supplies Hit by Coronavirus." *The Guardian*, 4. maaliskuuta. <https://www.theguardian.com/world/2020/mar/04/india-limits-medicine-exports-coronavirus-paracetamol-antibiotics>.
- Energiateollisuus. 2024. "Kaukolämpötilasto." *Energiateollisuus*. <https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilasto/>.
- Energiavirasto. 2024a. "Sähköön Toimitusvarmuus Vuonna 2024." *Energiavirasto*. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/199565096/S%C3%A4hk%C3%B6n%20toimitusvarmuus%20vuonna%202024.pdf/8055dc33-bda9-6fef-9210-779360d409f3/S%C3%A4hk%C3%B6n%20toimitusvarmuus%20vuonna%202024.pdf>.
- . 2024b. "Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti nousi 1000 megawattiin." *Energiavirasto*. <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-nousi-1000-megawattiin>.
- Energinet, Fingrid, Statnett & Svenska kraftnät. 2021. "Nordic Grid Development Perspective 2021." <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/nordic-grid-development-perspective-2021.pdf>.
- Escobar, Brooke, Ammar A. Malik, Sheng Zhang, Katherine Walsh, Alexandra Joosse, Bradley C. Parks, Jacqueline Zimmerman & Rory Fedorochko. 2025. "Power Playbook: Beijing's Bid to Secure Overseas Transition Minerals." AidData. <https://www.aiddata.org/publications/power-playbook-beijings-bid-to-secure-overseas-transition-minerals>.
- Euroopan parlamentti. 2025. "Eu lopettaa venäläisen kaasun tuonnin vaiheittain." *Euroopan parlamentti*, 17. joulukuuta. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/press-room/20251211IPR32169/eu-lopettaa-venalaisen-kaasun-tuonnin-vaiheittain>.
- Euroopan unionin neuvosto. 2020. "Neuvostolta päätelmät: Tehdään elpymisestä kiertotalous- ja ympäristömyönteistä." *Eurooppa-neuvosto; Euroopan unionin neuvosto*, 17. joulukuuta. <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2020/12/17/council-approves-conclusions-on-making-the-recovery-circular-and-green/>.
- . 2024. "Yhdyskuntajätevedet: neuvostolta uudet säännöt tehokkaammasta käsittelystä." *Consilium*, 5. marraskuuta. <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2024/11/05/urban-wastewater-council-adopts-new-rules-for-more-efficient-treatment/>.
- . 2025. "Yksinkertaistaminen: neuvostolta laki akkuja ja paristoja koskevien huolellisuussääntöjen lykkäämiseksi." *Eurooppa-neuvosto, Euroopan unionin neuvosto*, 18. heinäkuuta. <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2025/07/18/simplification-council-adopts-law-to-stop-the-clock-on-due-diligence-rules-for-batteries/>.
- Eurooppa-neuvosto & Euroopan unionin neuvosto. 2024. "Kiertotalous." <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/circular-economy/>.
- . 2025a. "Jätevesien käsittely." *Consilium*. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/wastewater-treatment/>.
- . 2025b. "Teollisuuden päästödirektiivi: keskeisiä lukuja." <https://www.consilium.europa.eu/fi/infographics/industrial-emissions-directive-key-figures/>.

- European Chemicals Agency [ECHA]. n.d. "Per- ja polyfluoralkyyliaineet (PFAS)." <https://echa.europa.eu/fi/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>.
- European Commission. 2019. "European Union Strategic Approach to Pharmaceuticals in the Environment." Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee. COM(2019) 128 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0128>.
- . 2026a. "A Pharmaceutical Strategy for Europe." *European Commission*. https://health.ec.europa.eu/medicinal-products/legal-framework-governing-medicinal-products-human-use-eu/pharmaceutical-strategy-europe_en.
- . 2023a. "Addressing Medicine Shortages in the EU." Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. https://commission.europa.eu/system/files/2023-10/Communication_medicines_shortages_EN_0.pdf.
- . 2026e. "Commission presents plan to secure Europe's fertiliser supply and food security." Text. *European Commission*. European Commission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_26_1099.
- . 2025a. "Commission Proposes Critical Medicines Act to Bolster the Supply of Critical Medicines in the EU." Text. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/ip_25_733.
- . 2024a. "Critical Medicines Alliance." *European Commission*. https://health.ec.europa.eu/health-emergency-preparedness-and-response-hera/overview/critical-medicines-alliance_en.
- . 2023e. "Critical Raw Materials." https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en.
- . n.d.b. "Critical Raw Materials Act." https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en.
- . 2026d. "Daily News 24 / 02 / 2026." Text. *European Commission*. European Commission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/mex_26_462.
- . 2024b. "EU and Rwanda sign a Memorandum of Understanding." Text. *European Commission*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_822.
- . 2024c. "EU and Serbia Sign Strategic Partnership." Text. *European Commission*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_3922.
- . 2023g. "EU Fertilisers Market Analysis." European Commission. https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/7834f9ad-c7ca-444a-bdd4-1e7bf209eb5f_en?filename=fertilisers-mo-2023-11-24-presentation_en.pdf.
- . 2025f. "EU Increases Tariff Duties on Russian and Belarusian Imports of Agricultural Products and Fertilizers." *European Commission*. <https://trade.ec.europa.eu/access-to-markets/en/news/eu-increases-tariff-duties-russian-and-belarusian-imports-agricultural-products-and-fertilizers>.
- . 2025c. "EU Stockpiling Strategy: Boosting the EU's Material Preparedness for Crises." European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52025DC0528>.
- . 2022b. "EU Strategic Dependencies and Capacities: Second Stage of in-Depth Reviews." European Commission. Commission Staff Working Document SWD(2022) 41 final. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/48878>.
- . 2023b. "European Health Union: Commission Proposes Pharmaceuticals Reform for More Accessible, Affordable and Innovative Medicines." Text. *European Commission*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1843.
- . 2021b. "European Raw Materials Alliance." *European Commission*. https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/industrial-alliances/european-raw-materials-alliance_en.
- . 2022c. "Food Security: Availability and Affordability of Fertilisers." Text. *European Commission*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6564.
- . 2022a. "Green Pharmaceuticals." *CORDIS - EU Research Results*. https://cordis.europa.eu/programme/id/HORIZON_HORIZON-HLTH-2021-IND-07-01.
- . 2023f. "Joint Communication to the European Parliament, the European Council and the Council on 'European Economic Security Strategy.'" JOIN/2023/20 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=JOIN:2023:20:FIN>.
- . 2023c. "Q&A: Addressing Medicine Shortages in the EU." Text. *European Commission*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/qanda_23_5191.
- . 2026c. "Questions and Answers on the 20th Package of Sanctions against Russia." Text. *European Commission*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_26_876.
- . 2025g. "Questions and Answers on the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)." Text. *European Commission*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_25_3089.
- . 2025b. "Raw Materials Diplomacy." *European Commission*. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/raw-materials-diplomacy_en.

- . 2026b. "Reform of EU Pharmaceutical Legislation." *European Commission*. https://health.ec.europa.eu/medicinal-products/reform-eu-pharmaceutical-legislation_en.
- . n.d.c. "Regime: BELARUS." *EU Sanctions Tracker*. <https://data.europa.eu/apps/eusanctiontracker/regimes/BLR>.
- . 2025d. "ResourceEU Action Plan." European Union. https://single-market-economy.ec.europa.eu/document/download/e9ac2181-0dc7-4e61-a964-ba0a39c2aea8_en.
- . 2025e. "State of Food Security in the EU: A Qualitative Assessment of Food Supply and Food Security in the EU within the Framework of the EFSCM." 4th report on the State of Food Security in the EU (Spring 2025). <https://webgate.ec.europa.eu/circabc-ewpp/d/d/workspace/SpacesStore/3d8755a5-094d-4688-8562-f06a68f78863/download>.
- . 2021a. "Strategic Dependencies and Capacities." Commission Staff Working Document. Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery. SWD(2021) 352 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52021SC0352>.
- . 2023d. "Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report." Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/57318397-fdd4-11ed-a05c-01aa75ed71a1>.
- . n.d.a. "The Net-Zero Industry Act: Making the EU the Home of Clean Technologies Manufacturing and Green Jobs." https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/net-zero-industry-act_en.
- European Council & Council of the European Union. 2026. "Russia's War against Ukraine: EU Sanctions." *Consilium*. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/sanctions-against-russia/>.
- European Environment Agency [EEA]. 2019. "Adaptation Challenges and Opportunities for the European Energy System: Building a Climate-resilient Low-carbon Energy System." Luxembourg: Publications Office of the European Union. EEA Report No 01/2019. <https://www.eea.europa.eu/publications/adaptation-in-energy-system>.
- . 2025a. "Europe's Environment 2025 – Country Profile: Finland." *European Environment Agency*, 28. <https://www.eea.europa.eu/en/europe-environment-2025/countries/finland>.
- . 2025b. "Economic Losses from Weather- and Climate-Related Extremes in Europe." *European Environment Agency* 14. lokakuuta. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/economic-losses-from-climate-related>.
- . 2024a. "European Climate Risk Assessment." Luxembourg: Publications Office of the European Union: European Environment Agency. EEA Report 01/2024. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment>.
- . 2024b. "Europe's Sustainability Transitions Outlook: Short-Term Action, Long-Term Thinking." Luxembourg: Publications Office of the European Union. EEA Report 06/2024. <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-sustainability-transitions-outlook>.
- European Federation of Pharmaceutical Industries and Association [EFPIA]. 2025. "Pharma CEOs Alert President von Der Leyen to Risk of Exodus to the us." <https://www.efpia.eu/news-events/the-efpia-view/statements-press-releases/pharma-ceos-alert-president-von-der-leyen-to-risk-of-exodus-to-the-us/>.
- European Medicines Agency [EMA]. 2023. "Medicine Shortages Single Point of Contact (SPoC) Working Party." *European Medicines Agency*. <https://www.ema.europa.eu/en/committees/working-parties-other-groups/medicines-shortages-single-point-contact-spoc-working-party>.
- . 2024. "HMA / EMA Task Force on the Availability of Authorised Medicines for Human and Veterinary Use (2016-2024)." *European Medicines Agency*. <https://www.ema.europa.eu/en/human-regulatory-overview/post-authorisation/medicine-shortages-availability-issues/hma-ema-task-force-availability-authorised-medicines-human-veterinary-use-2016-2024>.
- . 2025b. "European Shortages Monitoring Platform (ESMP)." <https://www.ema.europa.eu/en/human-regulatory-overview/post-authorisation/medicine-shortages-availability-issues/european-shortages-monitoring-platform>.
- . 2026b. "Executive Steering Group on Shortages and Safety of Medicinal Products." <https://www.ema.europa.eu/en/about-us/what-we-do/crisis-preparedness-management/executive-steering-group-shortages-medicinal-products>.
- . 2025a. "Good Manufacturing Practice." <https://www.ema.europa.eu/en/human-regulatory-overview/research-development/compliance-research-development/good-manufacturing-practice>.
- . 2026a. "Union List of Critical Medicines." *European Medicines Agency*. <https://www.ema.europa.eu/en/human-regulatory-overview/post-authorisation/medicine-shortages-availability-issues/availability-medicines-during-crises/union-list-critical-medicines>.
- European Parliament. 2020. "Report on the Shortage of Medicines — How to Address an Emerging Problem." A9-0142/2020. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2020-0142_EN.pdf.

- . 2023. "Fertilisers: Ensuring Availability, Affordability and Long-Term Autonomy." 16. helmikuuta. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230210IPR74810/fertilisers-ensuring-availability-affordability-and-long-term-autonomy>.
- Evans, Simon & Josh Gabbatiss. 2020. "In-Depth Q&A: Does the World Need Hydrogen to Solve Climate Change?" *Carbon Brief*, 30. marraskuuta. <https://www.carbonbrief.org/in-depth-qa-does-the-world-need-hydrogen-to-solve-climate-change/>.
- Fagunwa, Omololu E., Diane Ashiru-Oredope, Brendan F. Gilmore, Simon Doherty, Linda B. Oyama & Sharon A. Huws. 2024. "Climate Change as a Challenge for Pharmaceutical Storage and Tackling Antimicrobial Resistance." *Science of The Total Environment* 956: 177367. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.177367.
- Farmbrough, Heather. 2022. "Mining Is Cleaning Up Its Act. Volvo Construction Equipment And Clearwell Are Helping." *Forbes*, 4. helmikuuta. <https://www.forbes.com/sites/heatherfarmbrough/2022/02/04/mining-is-cleaning-up-its-act-volvo-construction-equipment-and-clearwell-are-helping/>.
- Fastmarkets. 2024. "Albemarle's Eric Norris Says Better Incentive Pricing Needed in Lithium Market to Avoid Slowing of Energy Transition." *Fastmarkets*, 23. elokuuta. <https://www.fastmarkets.com/insights/albemarles-eric-norris-incentive-pricing-needed-in-lithium-market/>.
- Feng, Yan, Peng Wang, Wen Li, Qian Zhang, Wei-Qiang Chen & Danyi Feng. 2024. "Environmental Impacts of Lithium Supply Chains from Australia to China." *Environmental Research Letters* 19 (9): 094035. doi:10.1088/1748-9326/ad69ac.
- Ferris, David. 2025. "The Hidden Loser in Trump's Auto Tariffs: Domestic EV Manufacturing." *POLITICO*, 2. huhtikuuta. <https://www.politico.com/news/magazine/2025/04/02/trump-tariffs-evs-tesla-musk-jobs-00264134>.
- Fertilizers Europe. 2022. "Council's Decision to Suspend Urea and Ammonia Tariffs at Odds with Europe's Push for Strategic Autonomy." https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2022/12/Fertilizers-Europe-PR_urea-and-ammonia-tariff-suspension.pdf.
- . 2024. "Forecast of Food, Farming & Fertilizer Use in the European Union 2024-2034." <https://www.fertilizerseurope.com/forecast-of-food-farming-and-fertilizers-use-in-the-european-union-2024-2034/>.
- . 2025. "CBAM on Fertilizers: A Step Closer to Ensuring a Level Playing Field, Export Solution Still Missing." Press release. Fertilizers Europe. https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2025/12/Fertilizers-Europe_Press-Release_CBAM_Dec-2025_final-1-1.pdf.
- . 2026. "EU Food Security and Strategic Autonomy at Risk Without Structural Approach to Fertilizers." Fertilizers Europe. Press release. https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2026/04/Press-Release-HLD-EU-Food-Security-and-Strategic-Autonomy-at-Risk-Without-Structural-Approach-to-Fertilizers_final.pdf.
- . 2023a. "Fertilizer Industry: Facts & Figures 2023." Fertilizers Europe. <https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2023/07/Industry-Facts-and-figures-2023.pdf>.
- . 2023b. "Fit for 55 Package: CBAM and ETS." *Fertilizers Europe*. <https://www.fertilizerseurope.com/fitfor55-ets-cbam/>.
- Fimea. 2023. "Muuttuva EU:n lääkelainsäädäntö ja EU:n ajankohtaiset lääkeasiat kiinnosti laajasti." *Asset Display Page*, 13. lokakuuta. <https://fimea.fi/-/muuttuva-eu-n-laakelainsaadanto-ja-eu-n-ajankohtaiset-laakeasiat-kiinnosti-laajasti>.
- . 2025. "Kansallinen lääketietovaranto saa nimen Farmasto – viranomaisten lääketiedonhallinta siirtyy uudelle aikakaudelle." *Fimea*. <https://fimea.fi/-/kansallinen-laaketietovaranto-saa-nimen-farmasto-viranomaisten-laaketiedonhallinta-siirtyy-uudelle-aikakaudelle>.
- . n.d. "Lääkinnälliset laitteet." *Fimea*. Fimea. <https://fimea.fi/laakinnalliset-laitteet>.
- Fingrid. 2024a. "Sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät päivitetty – Pidemmän aikavälin näkymä ennallaan." *Fingrid*. <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2024/sahkon-tuotannon-ja-kulutuksen-kehitysnakymat-paivitetty-pidemman-aikavalin-nakyma-ennallaan/>.
- Finnish Minerals Group. 2025. "CNGR Advanced Material vetäytyy Haminan pcam-tehdashankkeesta." *Finnish Minerals Group Oy*. www.mineralsgroup.fi/fi/ajankohtaista/uutiset/cngr-advanced-material-vetaytyy-haminan-pcam-tehdashankkeesta.html.
- Florin, Marie-Valentine & Marcel Thomas Bürkler. 2017. "Introduction to the IRGC Risk Governance Framework." EPFL International Risk Governance Center. doi:10.5075/epfl-irgc-233739.
- Fonseca, Iolanda. 2026. "Brazil Races to Rebuild Its Fertilizer Industry After Decades of Neglect." *The Rio Times*, 17. huhtikuuta. <https://www.riotimesonline.com/brazil-fertilizer-industry-import-dependency-petrobras-revival/>.
- Foodrise. 2026. "CAP At The Crossroads: Reforming EU CAP Subsidies to Support Healthy Sustainable Diets." Foodrise. <https://foodrise.org.uk/wp-content/uploads/2026/02/FoodRise-CAPCrossroads-Feb26-LowRes.pdf>.
- Ford, Neil. 2025. "Trump Strategy Threatens Critical Mineral Supplies for Clean Power." *Reuters*, 7. huhtikuuta. <https://www.reuters.com/business/energy/trump-strategy-threatens-critical-mineral-supplies-clean-power-2025-04-07/>.

- Fortum. 2023. "Fortum Battery Recycling avaa Euroopan suurimman suljetun kierron hydrometallurgisen akkumateriaalien kierrätyslaitoksen Harjavaltaan." *Fortum*. 27. huhtikuuta. <https://www.fortum.com/fi/media/2023/04/fortum-battery-recycling-avaa-euroopan-suurimman-suljetun-kierron-hydrometallurgisen-akkumateriaalien-kierratyslaitoksen-harjavaltaan>.
- Forzieri, Giovanni, Alessandra Bianchi, Filipe Batista e Silva, Mario A. Marin Herrera, Antoine Lebouis, Carlo Lavallo, Jeroen C. J. H. Aerts & Luc Feyen. 2018. "Escalating Impacts of Climate Extremes on Critical Infrastructures in Europe." *Global Environmental Change* 48: 97–107. doi:10.1016/j.gloenvcha.2017.11.007.
- Foster, G. & S. Rahmstorf. 2026. "Global Warming Has Accelerated Significantly." *Geophysical Research Letters* 53 (5): e2025GL118804. doi:10.1029/2025GL118804.
- Freifeld, Karen & David Shepardson. 2024. "Latest us Clampdown on China's Chips Hits Semiconductor Toolmakers." *Reuters*, 3. joulukuuta. <https://www.reuters.com/technology/latest-us-strike-chinas-chips-hits-semiconductor-toolmakers-2024-12-02/>.
- Freund, Caroline, Aaditya Mattoo, Alen Mulabdic & Michele Ruta. 2023. "Is us Trade Policy Reshaping Global Supply Chains?" World Bank Group. Policy Research Working Paper; no. WPS10593. doi:10/10.0938e50fe0608704ef70b7d005cda58b5af0d.
- Gabbatiss, Josh. 2025. "Experts: What Do Trump's Tariffs Mean for Global Climate Action?" *Carbon Brief*. 27. maaliskuuta. <https://www.carbonbrief.org/experts-what-do-trumps-tariffs-mean-for-global-climate-action/>.
- . 2026. "World 'Will Not See Significant Return to Coal' in 2026 – despite Iran Crisis." *Carbon Brief*, 28. huhtikuuta. <https://www.carbonbrief.org/world-will-not-see-significant-return-to-coal-in-2026-despite-iran-crisis/>.
- Gabbatiss, Josh & Molly Lempriere. 2024. "Q&A: What the Draghi Report Says about EU Climate Action and Energy." *Carbon Brief*, 11. syyskuuta. <https://www.carbonbrief.org/qa-what-the-draghi-report-says-about-eu-climate-action-and-energy/>.
- Gao, Yunhu & André Cabrera Serrenho. 2023. "Greenhouse Gas Emissions from Nitrogen Fertilizers Could Be Reduced by up to One-Fifth of Current Levels by 2050 with Combined Interventions." *Nature Food* 4 (2): 170–78. doi:10.1038/s43016-023-00698-w.
- Garcia, Luiz & Philip Jones. 2025. "On the Horizon: Climate-Induced Inflation and the Price of Food." The Autonomy Institute. <https://autonomy.work/portfolio/on-the-horizon-climate-induced-inflation-and-the-price-of-food/>.
- Gettleman, Jeffrey, Maya Tekeli & Chris Buckley. 2025. "For Greenland's Minerals, the Harsh Reality Behind the Glittering Promise." *The New York Times*, 3. maaliskuuta. <https://www.nytimes.com/2025/03/03/world/europe/greenland-minerals-trump.html>.
- Gibson, Rosemary. 2021. "China Has Cornered the Market on Antibiotics, so the U.S. Must Rebuild Its Manufacturing Capacity." *MarketWatch*, 28. huhtikuuta. <https://www.marketwatch.com/story/china-has-cornered-the-market-on-antibiotics-so-the-u-s-must-rebuild-its-manufacturing-capacity-11619640612>.
- Glauber, Joseph. 2026. "The Iran War: Potential Food Security Impacts." *IFPRI*. 6. maaliskuuta. <https://www.ifpri.org/blog/the-iran-war-potential-food-security-impacts/>.
- Global Agriculture. 2026. "One-Third of Global Fertilizer Trade Disrupted as Gulf Conflict Raises Risks for Food Prices and Crop Yields." *Global Agriculture*, 15. huhtikuuta. <https://www.global-agriculture.com/global-agriculture/one-third-of-global-fertilizer-trade-disrupted-as-gulf-conflict-raises-risks-for-food-prices-and-crop-yields/>.
- Golson, Michael. 2025. "Ford Admits It's 'still Scrambling' after Being Forced to Shut down Production." *The US Sun*, 24. kesäkuuta. <https://www.the-sun.com/motors/14551652/ford-production-shutdown/>.
- Goncalves, Sergio. 2024. "China Is Oversupplying Lithium to Eliminate Rivals, us Official Says." *Reuters*, 8. lokakuuta. <https://www.reuters.com/markets/commodities/china-is-oversupplying-lithium-eliminate-rivals-us-official-says-2024-10-08/>.
- Goodman, Matthew P. 2024. "Weighing Biden's China Tariffs." Council on Foreign Relations. <https://www.cfr.org/article/weighing-bidens-china-tariffs>.
- Government of Canada. 2025. "Potash Facts." *Natural Resources Canada*, 4. helmikuuta. <https://natural-resources.canada.ca/minerals-mining/mining-data-statistics-analysis/minerals-metals-facts/potash-facts>.
- Graham-Phillips, Wyatt. 2025. "Trump Has Begun Another Trade War. Here's a Timeline of How We Got Here." *AP News*, 8. maaliskuuta. <https://apnews.com/article/trump-tariffs-trade-war-timeline-83e199ab9edc8129334e4a9f20a44205>.
- Grumiller, Jan, Hannes Grohs & Christian Reiner. 2021. "Increasing the Resilience and Security of Supply of Production Post-COVID-19: The Case of Medical and Pharmaceutical Products." Österreichische Forschungsförderung für Internationale Entwicklung. Materialien zu Wirtschaft und Gesellschaft Nr. 216. Working Paper-Reihe der AK Wien.
- GTK. 2022. "Ukrainan sodan vaikutus raaka-aineiden ja mineraalien saatavuuteen, huoltovarmuuteen ja energiaan." *GTK*. 31. maaliskuuta. <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/ukrainan-sodan-vaikutus-raaka-aineiden-ja-mineraalien-saatavuuteen-huoltovarmuuteen-ja-energiaan/>.

- . 2024. "EU:n kriittisten raaka-aineiden asetus (CRMA) on astunut voimaan." *GTK*, 23. toukokuuta. <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/eun-kriittisten-raaka-aineiden-asetus-crma-on-astunut-voimaan/>.
- . 2025b. "Kaivosalan Kiertotalouden Ja Vastuullisuuden Edistäminen: Geotieteet Ja Kestävä Tulevaisuus." *GTK. Poliittikkasuositus*. <https://www.gtk.fi/app/uploads/2025/05/GTK-politiikkasuositus-mineraalien-kiertotalous-2025.pdf>.
- . n.d. "Kriittiset ja strategiset raaka-aineet." *GTK*. <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/kriittiset-ja-strategiset-raaka-aineet/>.
- . 2025a. "Kriittisten Raaka-Aineiden Saatavuuden Varmistaminen: EU:N Ja Suomen Strateginen Tavoite." *GTK. Poliittikkasuositus*. <https://www.gtk.fi/app/uploads/2025/04/GTK-politiikkasuositus-kriittisten-raaka-aineiden-saatavuus-2025.pdf>.
- Gu, Jackie, Suddev Kiyada, Adolfo Arranz, Jitesh Chowdhury, Han Huang, Vijdan Mohammad Kawoosa, David Stanway & Simon Scarr. 2023. "How Heavy Was the Rainfall That Flooded Beijing?" *Reuters*, 18. elokuuta. <https://www.reuters.com/graphics/CHINA-WEATHER/RAINFALL/zdvxrrgbqvx/>.
- Gunter, Jacob, Alexander Brown, François Chimits, Antonia Hmadi, Abigaël Vasselier & Max J. Zenglein. 2025. "Beyond Overcapacity: Chinese-Style Modernization and the Clash of Economic Models." *MERICs | Mercator Institute for China Studies*. <https://merics.org/en/report/beyond-overcapacity-chinese-style-modernization-and-clash-economic-models>.
- Gupte, Eklavya & Thomas Warner. 2026. "EU Publishes CBAM Emergency Brake Guidance after Fertilizer Backlash." *S&P Global Energy*. s&p, 8. tammikuuta <https://www.spglobal.com/energy/en/news-research/latest-news/energy-transition/010826-eu-publishes-cbam-emergency-brake-guidance-after-fertilizer-backlash>.
- Gustin, By Georgina. 2026. "The Farming Industry Has Embraced 'Precision Agriculture' and AI, but Critics Question Its Environmental Benefits." *Inside Climate News*, 28. helmikuuta. <https://insideclimatenews.org/news/28022026/precision-agriculture-and-ai/>.
- Hackett, James, Ester Sabatino, Matthew Bint, Dzaky Naradichiantama, Michael Gjerstad, Jonathan Bentham, Johannes Fischbach, Louis Bearn & Yurri Clavilier. 2025. "Critical Raw Materials and European Defence." *The International Institute for Strategic Studies*. <https://www.iiss.org/research-paper/2025/03/critical-raw-materials-and-european-defence/>.
- Hagelberg, Eija, Ulrika Wikström, Juuso Joona & Tuomas Mattila. 2020. "Regeneratiivinen Eli Uudistava Maatalous: Ruuantuotannon Uusi Suunta." *Baltic Sea Action Group*. https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2021/02/BSAG_CA_Regeneratiivinen-maatalous_FI_202101.pdf.
- Hajdari, Una. 2024. "Berlin Inks Lithium Deal with Belgrade despite Environmental Concerns." *POLITICO*, 19. heinäkuuta. <https://www.politico.eu/article/olaf-scholz-maros-sefcovic-lithium-deal-serbia-environmental-concerns/>.
- Hakala, Emma. 2023. "Climate change and security: Preparing for various impacts." *Finnish Institute of International Affairs. FIIA Briefing paper 369*. <https://www.fiaa.fi/julkaisu/climate-change-and-security>.
- Hakala, Emma, Sanna Erkamo, Juha Pyykönen, Heikki Tuomenvirta, Oras Tynkkynen, Kati Berninger & Antto Vihma. 2021. "Ilmastonmuutos ja Suomen turvallisuus: Uhat ja varautuminen kokonaisturvallisuuden toimintamallissa." *Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:52*. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163384>.
- Hakala, Emma & Helmi Räisänen. 2024a. "Ilmastonmuutoksen Ketjuuntuvia Ja Huoltovarmuudelle: Kirjallisuuteen Perustuva Tilannekuva." *Huoltovarmuuskeskus*. <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/c12400c49a9a8ef85bcfa05565887acb5c12478a/hvk-ilhu-tilannekatsaus-saavutettava.pdf>.
- . 2024b. "Security of supply in an era of environmental crises: Exploring the potential of Finnish comprehensive preparedness." *Finnish Institute of International Affairs. FIIA Briefing Paper 398*. <https://fiaa.fi/julkaisu/security-of-supply-in-an-era-of-environmental-crises>.
- Halleux, Vivienne. 2024. "New EU Regulatory framework for Batteries: Setting Sustainability Requirements." *European Parliament. Briefing. EU Legislation in Progress*. https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI%282021%29689337_EN.pdf.
- Halm, Isabeau van, Mengying Du & Giacomo Boscaini-Gilroy. 2023. "Critical Mineral Tracker by Energy Monitor." *Energy Monitor*, 21. kesäkuuta. <https://www.energymonitor.ai/sectors/power/energy-monitors-critical-minerals-tracker/>.
- Hansens, Pascal, Sigrid Melchior, Maxence Peigné & Harald Schumann. 2023. "Russia: Europe Imports €13 Billion of 'Critical' Metals in Sanctions Blindspot." *Investigate Europe*, 24. lokakuuta. <https://www.investigate-europe.eu/posts/russia-sanctions-europe-critical-raw-materials-imports>.
- Harris, Katy, Frida Lager, Marta K. Jansen & Magnus Benzie. 2022. "Rising to a New Challenge: A Protocol for Case-Study Research on Transboundary Climate Risk." *Weather, Climate, and Society* 14 (3): 755–68. doi:10.1175/wcas-D-21-0022.1.
- Hart, Drew J. 2014. "Why Did the Price of Potash Plummet?" *World Economic Forum*, 2. joulukuuta. <https://www.weforum.org/stories/2014/12/why-did-the-price-of-potash-plummet/>.

- Hartikainen, Jarno. 2025. "Komissio höllentää yhä valtiontukirajoituksia, teollisuus saa uuden sähköten." *Helsingin Sanomat*, 25. kesäkuuta. <https://www.hs.fi/politiikka/art-2000011323040.html>.
- . 2026. "Komissio yrittää pelastaa jättimäisen Mercosur-kauppasopimuksen: Lupaa myönnytyksiä viljelijöille." *Helsingin Sanomat*, 8. tammikuuta. <https://www.hs.fi/politiikka/art-2000011733669.html>.
- Hass, Ryan & Abraham Denmark. 2020. "More Pain than Gain: How the us-China Trade War Hurt America." *Brookings*, 7. elokuuta. <https://www.brookings.edu/articles/more-pain-than-gain-how-the-us-china-trade-war-hurt-america/>.
- Hausfather, Zeke. 2019. "Factcheck: How Electric Vehicles Help to Tackle Climate Change." *Carbon Brief*, 13. toukokuuta. <https://www.carbonbrief.org/factcheck-how-electric-vehicles-help-to-tackle-climate-change/>.
- . 2026. "State of the Climate: Strong El Niño Puts 2026 on Track for Second-Warmest Year." *Carbon Brief*, 21. huhtikuuta. <https://www.carbonbrief.org/state-of-the-climate-strong-el-nino-puts-2026-on-track-for-second-warmest-year/>.
- Hayek, Matthew N., Helen Harwatt, William J. Ripple & Nathaniel D. Mueller. 2021. "The Carbon Opportunity Cost of Animal-Sourced Food Production on Land." *Nature Sustainability* 4 (1): 21–24. doi:10.1038/s41893-020-00603-4.
- He, Chunyang, Zhifeng Liu, Jianguo Wu, Xinhao Pan, Zihang Fang, Jingwei Li & Brett A. Bryan. 2021. "Future Global Urban Water Scarcity and Potential Solutions." *Nature Communications* 12 (1): 4667. doi:10.1038/s41467-021-25026-3.
- Heads of Medicines Agencies. 2024. "Heads of Medicines Agencies: Tietoja Euroopan Lääkevirastojen Verkostosta." *Heads of Medicines Agencies*. <https://www.hma.eu/fi/tietoja-euroopan-laeakevirastojen-verkostosta.html>.
- Health Emergency Preparedness and Response Authority [HERA]. 2024. "Assessment of the Supply Chain Vulnerabilities for the First Tranche of the Union List of Critical Medicines: Technical Report." https://health.ec.europa.eu/publications/assessment-supply-chain-vulnerabilities-first-tranche-union-list-critical-medicines-technical-report_en.
- Hebebrand, Charlotte, Joseph Glauber, Rob Vos & Brendan Rice. 2026. "The Iran War's Impacts on Global Fertilizer Markets and Food Production." *IFPRI*, 1. huhtikuuta. <https://www.ifpri.org/blog/the-iran-wars-impacts-on-global-fertilizer-markets-and-food-production/>.
- Hebebrand, Charlotte & David Laborde. 2022. "Short-Term Policy Considerations to Respond to Russia-Ukraine Crisis Disruptions in Fertilizer Availability and Affordability." *IFPRI*, 8. kesäkuuta. <https://www.ifpri.org/blog/short-term-policy-considerations-respond-russia-ukraine-crisis-disruptions-fertilizer/>.
- Heimsoth, Josie. 2023. "Nitrogen Fertilizer Releases Greenhouse Gases throughout Its Life Cycle." *The Invading Sea*, 14. kesäkuuta. <https://www.theinvadingsea.com/2023/06/14/nitrogen-fertilizer-greenhouse-gases-climate-change-price-of-plenty/>.
- Heino, Matias, Pekka Kinnunen, Weston Anderson, Deepak K. Ray, Michael J. Puma, Olli Varis, Stefan Siebert & Matti Kummu. 2023. "Increased Probability of Hot and Dry Weather Extremes during the Growing Season Threatens Global Crop Yields." *Scientific Reports* 13 (1): 3583. doi:10.1038/s41598-023-29378-2.
- Helenius, Juha, Laura Höijer, Assi-Jutta Kuusela, Marjukka Lamminen, Marjatta Selänniemi & Mari Unnbom, eds. 2023. "Ratkaisuja Suomen Ruokastrategiaan. Food-Ohjelman Tietopaketti Päättäjille." Strateginen tutkimus, Suomen Akatemia. Kohti kestävä, terveellistä ja ilmastoneutraalia ruokajärjestelmää (Food) tutkimusohjelma. Strategisen tutkimuksen raportteja. https://www.aka.fi/globalassets/3-stn/1-strateginen-tutkimus/tiedon-kayttajalle/politiikkasuositukset/politiikkasuositukset/9_2023_food-ratkaisuja-suomen-ruokastrategiaan.pdf.
- Helsingin yliopisto. 2024. "Tasapuolisempi tyypilannoitteiden käyttö parantaisi ruokaturvaa." Uutiset. *Helsingin yliopisto*. 5. heinäkuuta. <https://www.helsinki.fi/fi/uutiset/kestavyysmurros/tasapuolisempi-tyypilannoitteiden-kaytto-parantaisi-ruokaturvaa>.
- Helsingin yliopisto, Terveysten ja hyvinvoinnin laitos & Luonnonvarakeskus. 2024. "Tutkijat suosittavat: Palkokasvien viljelyn lisäämistä tuettava Suomessa ruokaturvan ja huoltovarmuuden parantamiseksi." *Helsingin yliopisto*, 7. marraskuuta. <https://www.helsinki.fi/fi/maatalous-metsatieteellinen-tiedekunta/ajankohtaista/tutkijat-suositavat-palkokasvien-viljelyn-lisaamista-tuettava-suomessa-ruokaturvan-ja-huoltovarmuuden-parantamiseksi>.
- Henderson, Kimberly & Jukka Maksimainen. 2020. "Here's How the Mining Industry Can Respond to Climate Change." <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/sustainability-blog/here-is-how-the-mining-industry-can-respond-to-climate-change>.
- Hendrix, Cullen S. 2023. "Political Unrest in Africa Threatens Global Critical Mineral Supplies and Their Futures." *Peterson Institute for International Economics*, 19. syyskuuta. <https://www.piie.com/research/piie-charts/political-unrest-africa-threatens-global-critical-mineral-supplies-and-their>.
- . 2024a. "The El Niño Southern Oscillation and Geopolitical Risk." *Peterson Institute for International Economics*. Working Paper 24-14. <https://www.piie.com/publications/working-papers/2024/el-nino-southern-oscillation-and-geopolitical-risk>.

- . 2024b. "China's Export Controls on Critical Minerals Aren't Starving the United States—at Least so Far." *Peterson Institute for International Economics*, 31. lokakuuta. <https://www.piie.com/blogs/realtime-economics/2024/chinas-export-controls-critical-minerals-arent-starving-united-states>.
- Herzon, Irina, Rachel Mazac, Maijaliisa Erkkola, Tara Garnett, Helena Hansson, Malin Jonell, Minna Kaljonen, ym. 2024. "Both Downsizing and Improvements to Livestock Systems Are Needed to Stay within Planetary Boundaries." *Nature Food* 5 (8): 642–45. doi:10.1038/s43016-024-01030-w.
- Herzon, Irina & Marjaana Toivonen. 2024. "Yliö: Nykyinen kotieläintuotanto ei mahdu planeetalle – tuotantoeläimet olisi integroitava takaisin osaksi kasvinviljelyn kiertoa." *Maaseudun Tulevaisuus*, 23. syyskuuta. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/2ce7c9a0-2214-4987-9179-5d743f28ba8c>.
- Hiilamo, Elli-Alina. 2022. "Suomalaiset saattavat pian joutua muuttamaan ruokatottumuksiaan – syynä on sota ja Suomen riippuvuus venäläisistä lannoitteista." *Yle Uutiset*, 10. maaliskuuta. <https://yle.fi/a/3-12352181>.
- Hildén, Mikael, Fanny Groundstroem, Timothy R. Carter, Mikko Halonen, Adriaan Perrels & Hilppa Gregow. 2016. *Ilmastomuutoksen heijastevaikutukset Suomeen*. Raportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 46/2016. Valtioneuvoston kanslia. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79783>.
- Hill, Matthew. 2022. "The Metals for Your EV Are Stuck in a 30-Mile Traffic Jam." *Bloomberg.Com*. <https://www.bloomberg.com/features/2022-africa-copper-supply-chain-snarls/>.
- Hodgkinson, Jane, Anna Littleboy, Mark Howden, Kieren Moffat & Barton Loechel. 2010. "Climate Adaptation in the Australian Mining and Exploration Industries." CSIRO. CSIRO Climate Adaptation Flagship Working paper No. 5. https://research.csiro.au/climate/wp-content/uploads/sites/54/2016/03/5_WorkingPaper5_CAF_pdf-Standard.pdf.
- Hokkanen, Joonas, Heikki Savikko, Heini Koutonen, Heikki Rannikko, Tomi Rinne & Minna Pirilä. 2020. "Suomen mineraaliklusterin kilpailukyky- ja vaikuttavuustutkimus." Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:15. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162142>.
- Holderness, Alexander, Nicholas Velazquez, Henry H. Carroll & Cynthia Cook. 2023. "Understanding China's Gallium Sanctions." *Center for Strategic and International Studies (CSIS)*, 7. heinäkuuta. <https://www.csis.org/analysis/understanding-chinas-gallium-sanctions>.
- Horn, Susanna, Topi Turunen, Sara Saukkonen, Erkki-Jussi Nylén & Jaana Sorvari. 2025. "Circular Economy Solutions for Magnetic Resonance Imaging –Mitigation of Environmental Impacts and Critical Raw Material Use." *Resources, Conservation and Recycling* 215: 108095. doi:10.1016/j.resconrec.2024.108095.
- Howard, Jacqueline, Tinsui Yeung, Laura Bicker, Lee Lok & Martin Yip. 2025. "Typhoon Ragasa Makes Landfall in China after 17 Killed in Taiwan." *BBC News*, 24. syyskuuta. <https://www.bbc.com/news/live/c0m44dlnrnt>.
- Huan-Niemi, Ellen, Marja Knuuttila, Eero Vatanen & Jyrki Niemi. 2021. "Dependency of Domestic Food Sectors on Imported Inputs with Finland as a Case Study." *Agricultural and Food Science* 30 (3): 119–30. doi:10.23986/afsci.107580.
- Hultgren, Andrew, Tamma Carleton, Michael Delgado, Diana R. Gergel, Michael Greenstone, Trevor Houser, Solomon Hsiang, ym. 2025. "Impacts of Climate Change on Global Agriculture Accounting for Adaptation." *Nature* 642 (8068): 644–52. doi:10.1038/s41586-025-09085-w.
- Human Rights Watch. 2023. "EU's Flawed Reliance on Audits, Certifications for Raw Materials Rules." *Human Rights Watch*, 24. toukokuuta. <https://www.hrw.org/news/2023/05/24/eus-flawed-reliance-audits-certifications-raw-materials-rules>.
- Huoltovarmuuskeskus [HVK]. 2023. "Rypsilajike Aurea CL on huoltovarmuusteko." *Varmuuden Vuoksi*, 25. lokakuuta. Huoltovarmuuskeskus. <https://www.varmuudenvuoksi.fi/artikkeli/rypsilajike-aurea-cl-on-huoltovarmuusteko>.
- . n.d. "Sektori ja poolit." <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/toimialat/teollisuus/sektori-ja-poolit>.
- Hydrogen Cluster Finland. 2023. "Clean Hydrogen Economy Strategy for Finland." Hydrogen Cluster Finland. <https://h2cluster.fi/wp-content/uploads/2023/06/H2C-H2-Strategy-for-Finland.pdf>.
- ICMM. 2025. "Global Mining Dataset: Understanding the Global Distribution of Mining and Metals Facilities." *ICMM*, 3. syyskuuta. <https://www.icmm.com/en-gb/research/data/2025/global-mining-dataset>.
- Iivonen, Sari, Johan Ekroos, Marleena Hagner, Terho Hyvönen, Ari Järvinen, Ansa Palojarvi & Marjaana Toivonen. 2023. *Luomutuotannon vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen pohjoisessa maatalousympäristössä: Synteesiraportti*. Luonnonvarakeskus. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-598-9>.
- Iivonen, Sari & Hanna-Maija Karikallio. n.d. "Luomusta oppeja kestävämpään ruoantuotantoon." *Luonnonvarakeskus*. Luonnonvarakeskus [Luke]. <https://www.luke.fi/fi/tutkimus/tutkimuksesta-ratkaisuja/vaikutavuustarinat-kannattava-ja-vastuullinen-alkutuotanto/luomusta-oppeja-kestavampaan-ruoantuotantoon>.

- Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development (IGF). 2018. "Global Trends in Artisanal and Small-Scale Mining (ASM): A Review of Key Numbers and Issues." International Institute for Sustainable Development. <https://www.iisd.org/system/files/publications/igf-asm-global-trends.pdf>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. 2023. "Summary for Policymakers." Teoksessa *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, toim. Core Writing Team, H. Lee & J. Romero, 1–34. Geneva: IPCC. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf.
- International Energy Agency [IEA]. 2021. "Three-Year Action Plan for Cleaner Air (Also Called the Blue Sky War)." *International Energy Agency*, 16. toukokuuta. <https://www.iea.org/policies/8508-three-year-action-plan-for-cleaner-air-also-called-the-blue-sky-war>.
- . 2023. "Electricity Grids and Secure Energy Transitions – Analysis." <https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions>.
- . 2024b. "Batteries and Secure Energy Transitions." International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/cb39c1bf-d2b3-446d-8c35-aae6b1f3a4a0/BatteriesandSecureEnergyTransitions.pdf>.
- . 2024a. "Global Critical Minerals Outlook 2024." IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ee01701d-1d5c-4ba8-9df6-abeac9de99a/GlobalCriticalMineralsOutlook2024.pdf>.
- . 2025b. "Global Critical Minerals Outlook 2025." International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>.
- . 2024d. "Levelised Cost of Electricity of Geothermal and Other Low-Emissions Dispatchable Technologies in the Announced Pledges Scenario, 2035." IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/levelised-cost-of-electricity-of-geothermal-and-other-low-emissions-dispatchable-technologies-in-the-announced-pledges-scenario-2035>.
- . 2025c. "Recycling of Critical Minerals: Strategies to Scale up Recycling and Urban Mining." A World Energy Outlook Special Report. Revised version December 2025. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d041f616-2f49-4694-861c-97d489ed1856/RecyclingofCriticalMinerals.pdf>.
- . 2024c. "World Energy Outlook 2024 – Analysis." IEA. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>.
- . 2025a. "World Energy Outlook 2025." <https://iea.blob.core.windows.net/assets/dfe5daf4-dbc1-4533-abeb-fafb1faee0f9/WorldEnergyOutlook2025.pdf>.
- International Fertilizer Association [IFA]. 2022. "Reducing Emissions from Fertilizer Use." International Fertilizer Association [IFA]. https://www.fertilizer.org/wp-content/uploads/2022/09/2022_IFA_Systemiq_Reducing_Emissions_from_Fertilizer_Use_Report_Jan_12_2023.pdf.
- . 2023. "Argus/IFA Study Reaffirms No Shortage of Phosphate Rock." *International Fertilizer Association*, 25. huhtikuuta. <https://www.fertilizer.org/news/argus-ifa-study-reaffirms-no-shortage-of-phosphate-rock/>.
- International Renewable Energy Agency [IRENA]. 2023. "Geopolitics of the Energy Transition: Critical Materials." Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jul/IRENA_Geopolitics_energy_transition_critical_materials_2023.pdf.
- Iqbal, Heather. 2019. "Cutting off Miners Is Not Responsible Sourcing." *Global Witness*. 26. marraskuuta. <https://globalwitness.org/en/campaigns/conflict-resources/why-cutting-artisanal-miners-not-responsible-sourcing/>.
- IQVIA. 2020. "EU Fine Chemical Commercial KPI. Executive Summary." IQVIA. https://efcg.cefic.org/wp-content/uploads/2021/06/20201211_IQVIA-for-EFCG_Executive-summary.pdf.
- Irrarázabal, Ricardo. 2006. "Mining and Climate Change: Towards a Strategy for the Industry." *Journal of Energy & Natural Resources Law* 24 (3): 403–22. doi:10.1080/02646811.2006.11433444.
- Islam, Md. Ziaul & Chao Wang. 2024. "Cost of High-Level Flooding as a Consequence of Climate Change Driver?: A Case Study of China's Flood-Prone Regions." *Ecological Indicators* 160: 111944. doi:10.1016/j.ecolind.2024.111944.
- Jalli, Heikki, Jukka Saarinen & Matts Nysand. 2023. "Herneen viljelyopas." Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2023. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-676-4>.
- Jannuzi, Frank. 2025. "U.S. Interests in the South China Sea: Defending Norms, Not Territory." In *The South China Sea: The Geo-Political Epicenter of the Indo-Pacific?*, toim. Nguyen Hung Son and Nguyen Thi Lan Anh, 27–34. Singapore: Springer Nature. doi:10.1007/978-981-97-8209-3_3.
- Jansik, Csaba, Hanna Karikallio, Titta Kotilainen, Hannu Känkänen, Anne Pihlanto, Susanna Rokka & Marjatta Vahvaselkä. 2024. *Kasviproteiini kasvun tiellä: Tiekartta ruoan korkeampaan kasviproteiiniomavaraisuuteen*. Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/11111/21939>.
- Javorcik, Beata, Lucas Kitzmüller, Helena Schweiger & Ali Yıldırım. 2022. "Economic Costs of Friend-Shoring." European Bank for Reconstruction and Development. Working Paper No. 274. <https://papers.ssrn.com/abstract=4327056>.

- Jensen, Liselotte & Charlotte Hourdin. 2025. "Climate Change Impacts on Food Security in the European Union." European Parliamentary Research Service. Briefing. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/775874/EPRS_BRI\(2025\)775874_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/775874/EPRS_BRI(2025)775874_EN.pdf).
- Jiang, Yong, Chris Zevenbergen & Yongchi Ma. 2018. "Urban Pluvial Flooding and Stormwater Management: A Contemporary Review of China's Challenges and 'Sponge Cities' Strategy." *Environmental Science & Policy* 80: 132–43. doi:10.1016/j.envsci.2017.11.016.
- Johnson, Nathan, Michael Liebreich, Daniel M. Kammen, Paul Ekins, Russell McKenna & Iain Staffell. 2025. "Realistic Roles for Hydrogen in the Future Energy Transition." *Nature Reviews Clean Technology* 1 (5): 351–71. doi:10.1038/s44359-025-00050-4.
- Johnson, Nick W., Marcos Valenzuela-Ortega, Thomas W. Thorpe, Yuta Era, Annemette Kjeldsen, Keith Mulholland & Stephen Wallace. 2025. "A Biocompatible Lossen Rearrangement in Escherichia Coli." *Nature Chemistry* 17 (7): 1020–26. doi:10.1038/s41557-025-01845-5.
- Joint Research Centre [JRC]. n.d. "Raw Materials Profiles - Lithium." *RMIS - Raw Materials Information System*. European Commission. <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Lithium>.
- Jones, Daniel O. B., Maria Belen Arias, Loïc Van Audenhaege, Sabena Blackbird, Corie Boolukos, Guadalupe Bribiesca-Contreras, Jonathan T. Copley, ym. 2025. "Long-Term Impact and Biological Recovery in a Deep-Sea Mining Track." *Nature*, 1–3. doi:10.1038/s41586-025-08921-3.
- Jones, Darryl & Annelies Deuss. 2024. "Understanding the Resilience of Fertiliser Markets to Shocks: An Overview of Fertiliser Policies." OECD. OECD Food, Agriculture and Fisheries Paper N°208. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/06/understanding-the-resilience-of-fertiliser-markets-to-shocks_c8c4806f/43664170-en.pdf.
- Jones, Dave & Libby Copsey. 2025. "Guest Post: Saudi Arabia's Surprisingly Large Imports of Solar Panels from China." *Carbon Brief*, 31 maaliskuuta. <https://www.carbonbrief.org/guest-post-saudi-arabias-surprisingly-large-imports-of-solar-panels-from-china/>.
- Jones, Nicola. 2022. "From Fertilizer to Fuel: Can 'Green' Ammonia Be a Climate Fix?" *Yale E360*. <https://e360.yale.edu/features/from-fertilizer-to-fuel-can-green-ammonia-be-a-climate-fix>.
- Järvenranta, Kirsi, Petri Kapuinen, Sanna Kykkänen, Hannu Känkänen, Olli Niskanen, Liisa Pesonen, Katariina Pussi, Elina Tampio, Maarit Termonen & Erika Winquist. 2022. "Mahdolliset vaikutukset huoltovarmuuteen sekä ratkaisuehdotuksia ja tutkimustarpeita." Teoksessa *Maatalouden typpihaaste – Vaihtoehtoja ja ratkaisuja*, toim. Eeva Vainio, 65–68. Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus.
- Järvenranta, Kirsi, Sanna Kykkänen, Pasi Mattila, Tapio Salo, Maarit Termonen & Perttu Virkajärvi. 2022. "Typpi maatalouden tuotantopanoksena Suomessa." Teoksessa *Maatalouden typpihaaste – Vaihtoehtoja ja ratkaisuja*, toim. Eeva Vainio, 7–19. Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus.
- Kahiluoto, Helena, Yousef Sakieh, Janne Kaseva, Kurt-Christian Kersebaum, Sara Minoli, James Franke, Reimund P Rötter & Christoph Müller. 2024. "Redistribution of Nitrogen to Feed the People on a Safer Planet." *PNAS Nexus* 3 (5): pga170. doi:10.1093/pnasnexus/pgae170.
- Kaljonen, Minna, Kaisa Karttunen, Suvi Huttunen, Teea Kortetmäki, Annika Lonkila, Jyrki Niemi, Laura Paalanen, ym. 2022. "Just Food Policy Brief Poliitiikkasuosituksia reiluun ruokamurrokseen." Suomen ympäristökeskus. https://www.aka.fi/globalassets/3-stn/1-strateginen-tutkimus/tiedon-kayttajalle/poliitiikkasuositukset/politiikkasuositukset/22_10_reilu-ruokamurros-onnistuu-kaikkien-ruokajarjestelman-toimijoiden-yhteistyolla.pdf.
- Kallio, Jyrki. 2022. "China's Belt and Road Initiative: Successful Economic Strategy or Failed Soft-Power Tool?" Finnish Institute of International Affairs. Briefing Paper 350. <https://fiia.fi/en/publication/chinas-belt-and-road-initiative>.
- Kalwasiński, Maciej. 2024. "China on the Road to 'Green' Energy Security." *OSW Centre for Eastern Studies*, 7. kesäkuuta. <https://www.osw.waw.pl/en/publikacje/osw-commentary/2024-06-07/china-road-to-green-energy-security>.
- Kan, Haidong. 2011. "Climate Change and Human Health in China." *Environmental Health Perspectives* 119 (2): A60–61. doi:10.1289/ehp.1003354.
- Kansallisen ilmastomuutokseen sopeutumis suunnitelman valmisteluryhmä ja sihteeristö. 2023. "Valtioneuvoston selonteko kansallisesta ilmastomuutokseen sopeutumis suunnitelmasta vuoteen 2030: Hyvinvointia ja turvallisuutta muuttuvassa ilmastossa." Toim. Maa- ja metsätalousministeriö. Valtioneuvosto. Valtioneuvoston julkaisuja 2023:73. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165337>.

- Kansteiner, Fraiser. 2023. "Pfizer Resumes Production at Tornado-Hit Plant in North Carolina." *Fierce Pharma*, 25. syyskuuta. <https://www.fiercepharma.com/pharma/pfizer-restarts-production-early-tornado-hit-nc-plant-supply-squeezes-are-expected-persist>.
- Kaplan, Warren A., Davidson H. Hamer & Kayoko Shioda. 2025. "The Potential Impact of Climate Change on Medication Access and Quality Deserves Far More Attention." *One Health* 20: 100957. doi:10.1016/j.onehlt.2024.100957.
- Kapuni, Petri, Erika Winquist & Jani Lehto. 2022. "Typpilannoitteiden Tuotantomahdollisuudet Suomessa." Teoksessa *Maatalouden typpihaaste – Vaihtoehtoja ja ratkaisuja*, toim. Eeva Vainio, 29–33. Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus.
- Kaufmann, Dirk. 2019. "Low Rhine Poses Threat to Businesses." *Dw.Com*. 1. elokuuta. <https://www.dw.com/en/german-businesses-fear-repeat-of-historic-shutdown-of-rhine-river/a-49832263>.
- Kaur, Harjas, Fiona Parascandolo, Gail Krantzberg, Emma Ko, Neha Mathur, Amanjot Singh Gill, Falisha Razack & Myles Sergeant. 2025. "Journey of a Pill." *Canadian Family Physician* 71 (4): 263–69. doi:10.46747/cfp.7104263.
- Kavanagh, Michael & William Clowes. 2024. "Congo Wants to Pivot Away From China's Dominance Over Its Mining." *Bloomberg.Com*, 9. lokakuuta. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-10-09/congo-wants-to-pivot-away-from-china-s-dominance-over-its-mining>.
- Kavanagh, Michael J. 2024. "DRC Strikes New \$7 Billion Mine Road-Financing Deal With China." *Bloomberg.com*, 27. tammikuuta. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-01-27/drc-strikes-new-7-billion-mine-road-financing-deal-with-china>.
- Keating, Cecilia, Ayesha Tandon & Giuliana Viglione. 2026. "Q&A: How Climate Change and War Threaten Iran's Water Supplies." *Carbon Brief*, 13. maaliskuuta. <https://www.carbonbrief.org/qa-how-climate-change-and-war-threaten-irans-water-supplies/>.
- Keen, Kip, Susan Dlin & Camellia Moors. 2022. "Mining Sector's Failure to Seek New Copper Jeopardizes Entire Energy Transition." *S&P Global*, 6. syyskuuta. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/mining-sector-s-failure-to-look-for-new-copper-jeopardizes-entire-energy-transition-71798330>.
- Keenan, Joseph. 2023. "Flooding Halts Manufacturing at Alembic Pharmaceuticals' India Plant." *Fierce Pharma*, 5. lokakuuta. <https://www.fiercepharma.com/manufacturing/flooding-halts-manufacturing-alembic-pharmaceuticals-india-plant>.
- Kennedy, Scott. 2024. "The Chinese EV Dilemma: Subsidized Yet Striking." *Center for Strategic and International Studies CSIS*, 20. kesäkuuta. <https://www.csis.org/blogs/trustee-china-hand/chinese-ev-dilemma-subsidized-yet-striking>.
- Keskitalo, Marjo, Hannu Känkänen, Ansa Palojärvi, Taina Pennanen, Alan Schulman, Pirjo Tanhuanpää & Sirja Viitala. 2022. "Biologiset prosessit kasvin typensaannin turvaajana." Teoksessa *Maatalouden typpihaaste – Vaihtoehtoja ja ratkaisuja*, toim. Eeva Vainio, 34–45. Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus.
- Khomenko, Ivan. 2026. "Drones Hit Pipeline at Russia's Apatit Chemical Plant Supplying Its War Effort." *UNITED24 Media*, 26. huhtikuuta. <https://united24media.com/latest-news/drones-hit-pipeline-at-russias-apatit-chemical-plant-supplying-its-war-effort-18227>.
- Kluukeri, Iina. 2022. "Ukrainan sota vaikeuttaa jo lannoitevalmistajia Yaran tuotantoa Kokkolassa: 'Yritämme vähentää riippuvuutta Venäjän raaka-aineista.'" *Yle Uutiset*, 9. maaliskuuta. <https://yle.fi/a/3-12349902>.
- Koivunen, Tero & Sanna Syri. 2024. "Analysis of Severe Scarcity Situations in Finland's Low Carbon Electricity System Until 2030." *Energies* 17 (23): 5928. doi:10.3390/en17235928.
- Kokkonen, Yrjö. 2026. "Ukraina iski lannoitetehtäseen Smolenskin alueella." *Yle Uutiset*. <https://yle.fi/a/74-20010573/64-3-292680>.
- Kolari, Ville. 2025. "Analyysi: Valmet Automotive -kauppa herättää kasan kysymyksiä, yksi vastaus voi löytyä Natosta." *Yle Uutiset*, 1. syyskuuta. <https://yle.fi/a/74-20180377>.
- Kooroshy, Jaakko, Felix Preston & Siân Bradley. 2014. "Cartels and Competition in Minerals Markets: Challenges for Global Governance." Chatham House. Research Paper. https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/field/field_document/20141219CartelsCompetitionMineralsMarketsKooroshyPrestonBradleyFinal.pdf.
- Koppelmäki, Kari, Marjukka Lamminen, Juha Helenius & Rogier P. O. Schulte. 2021. "Smart Integration of Food and Bioenergy Production Delivers on Multiple Ecosystem Services." *Food and Energy Security* 10 (2): e279. doi:10.1002/fes3.279.
- Korhonen, Mira. 2021. "Lääkkeiden Saatavuus Suomessa: Rekisteritutkimus Lääkealan Turvallisuus- ja Kehittämiskeskusten Aineistosta 2017-2020." <https://helda.helsinki.fi/items/476f19c7-b42d-4834-bfb6-bb9dd2d71c48>.
- Kortleve, Anniek J., José M. Mogollón, Helen Harwatt & Paul Behrens. 2024. "Over 80% of the European Union's Common Agricultural Policy Supports Emissions-Intensive Animal Products." *Nature Food* 5 (4): 288–92. doi:10.1038/s43016-024-00949-4.

- Kosonen, Sari. 2025. "EU-direktiivistä vakava uhka lääkkeiden saatavuudelle?" *Lääkärilehti.fi*, 13. helmikuuta. <https://www.laakarilehti.fi/terveydenhuolto/eu-direktiivistä-vakava-uhka-laakkeiden-saatavuudelle/?public=0457be6cb4070f37c62614a22cd82e21>.
- Kost, Christoph, Paul Müller, Jael Sepúlveda Schweiger, Verena Fluri & Jessica Thomsen. 2024. "Levelized Cost of Electricity - Renewable Energy Technologies." Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/cost-of-electricity.html>.
- Kotz, Maximilian, Markus G Donat, Tom Lancaster, Miles Parker, Pete Smith, Anna Taylor & Sylvia H Vetter. 2025. "Climate Extremes, Food Price Spikes, and Their Wider Societal Risks." *Environmental Research Letters* 20 (8): 081001. doi:10.1088/1748-9326/ade45f.
- Kowalski, Przemyslaw & Clarisse Legendre. 2023. "Raw Materials Critical for the Green Transition: Production, International Trade and Export Restrictions." OECD. OECD Trade Policy Papers no. 269. <https://doi.org/10.1787/c6bb598b-en>.
- Krishnan, R., J. Sanjay, Chellappan Gnanaseelan, Milind Mujumdar, Ashwini Kulkarni & Supriyo Chakraborty, eds. 2020. *Assessment of Climate Change over the Indian Region: A Report of the Ministry of Earth Sciences (MoES), Government of India*. Springer Nature. doi:10.1007/978-981-15-4327-2.
- Krychkovska, Ulyana & Roman Petrenko. 2025. "US Lifts Sanctions on Belarusian Potash." *Ukrainska Pravda*, 13. joulukuuta. <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2025/12/13/8011667/>.
- Kuusela, Olli-Pekka & Olli Ropponen. 2025. "Miten vauhdittaa kiertotaloussiirtymää? Katsaus mittareihin ja ohjauskeinoihin." Etla. ETLA Raportit 159. <https://www.etla.fi/julkaisut/raportit/miten-vauhdittaa-kiertotaloussiirtymaa-katsaus-mittareihin-ja-ohjauskeinoihin/>.
- Kuusniemi, Verna. 2024. "Finnish Onshore Wind Growth at Risk from Low Revenues – Industry." *MONTEL*, 2. lokakuuta. <https://montelnews.com/news/eda6b5ae-0574-44c0-bea4-54328769b65b/finnish-onshore-wind-growth-at-risk-from-low-revenues-industry>.
- Kuzemko, Caroline, Mathieu Blondeel, Michael Bradshaw, Gavin Bridge, Erika Faigen & Louis Fletcher. 2024. "Rethinking Energy Geopolitics: Towards a Geopolitical Economy of Global Energy Transformation." *Geopolitics* 30 (2): 1–35. doi:10.1080/14650045.2024.2351075.
- Kuzma, Samantha, Liz Saccoccia & Marlena Chertock. 2023. "25 Countries, Housing One-Quarter of the Population, Face Extremely High Water Stress." *World Resources Institute*, 16. elokuuta. <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>.
- Köster, Hannes, Florian P. Neubert, Kai Dierksmeier, Lena Adelman, Heiko Lentge & Philipp Schmidt. 2022. "Securing Raw Material Supply: Benchmarking of Measures of Foreign Manufacturing companies and Recommendations for Action." DERA Rohstoffinformationen. 52. https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-52.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- Laakkonen, Teemu, Arto Haapea & Marja Kuosmanen. 2023. *Suomen kaupallisista riippuvuuksista Kiinaan*. Valtioneuvosto. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/11111/10951>.
- Ladewig, Malte, Arild Angelsen, Robert N. Masolele & Colas Chervier. 2024. "Deforestation Triggered by Artisanal Mining in Eastern Democratic Republic of the Congo." *Nature Sustainability*, 1–9. doi:10.1038/s41893-024-01421-8.
- Laki lääkinnällisistä laitteista 719/2021. Annettu 15. heinäkuuta 2021 Helsingissä. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2021/719>.
- Lakshman, Shivani. 2024. "More Critical Minerals Mining Could Strain Water Supplies in Stressed Regions." *World Resources Institute*, 1. lokakuuta. <https://www.wri.org/insights/critical-minerals-mining-water-impacts>.
- Langley, William, Chan Ho-him & Kathrin Hille. 2025. "Typhoon Ragasa Races towards Chinese Coast as Death Toll Climbs." *Financial Times*, 24. syyskuuta. <https://www.ft.com/content/127a8b79-8d76-4920-b946-ba5036488512>.
- Lannoitelaki 711/2022. Annettu 8. heinäkuuta 2022 Helsingissä. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2022/711>.
- Latonen, S. H., R. M. Suominen, A. M. Juppo, M. Airaksinen & H. Seeck. 2023. "Organisation of Cross-Sector Collaboration and Its Influence on Crisis Management Effectiveness among Pharmaceutical Supply Chain Stakeholders during the covid-19 Pandemic." *Public Health* 222: 196–204. doi:10.1016/j.puhe.2023.06.042.
- Lawder, David. 2024. "India, US Sign Pact to Cooperate on Critical Battery Mineral Supply Chains." *Reuters*, 3. lokakuuta. <https://www.reuters.com/markets/commodities/india-us-cooperate-critical-battery-minerals-trade-minister-says-2024-10-03/>.
- Lawrence, Jeanne-Marie, Niamat Ullah Ibne Hossain, Raed Jaradat & Michael Hamilton. 2020. "Leveraging a Bayesian Network Approach to Model and Analyze Supplier Vulnerability to Severe Weather Risk: A Case Study of the U.S. Pharmaceutical Supply Chain Following Hurricane Maria." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 49: 101607. doi:10.1016/j.ijdrr.2020.101607.
- Lazard. 2024. "Levelized Cost of Energy+." Lazard. https://www.lazard.com/media/xemfey0k/lazards-lcoeplus-june-2024-_vf.pdf.

- Leconte-Demarsy, Delphine & Brendan Rice. 2025. "High Global Phosphate Prices Pose Potential Food Security Risks." *IFPRI*, 20. maaliskuuta. <https://www.ifpri.org/blog/high-global-phosphate-prices-pose-potential-food-security-risks/>.
- Leg4Life. 2024. "Palkokasvien Viljely Ruoaksi Ja Rehuksi Vahvistaa Ruokaturvaa Ja Huoltovarmuutta." Leg4Life-tutkimushankkeen suosituksia 2. https://www.aka.fi/globalassets/3-stn/1-strateginen-tutkimus/tiedon-kayttajalle/politiikkasuositukset/politiikkasuositukset/11_2024_leg4life_palkokasvien-viljely-ruoaksi-ja-rehuksi-vahvistaa-ruokaturvaa-ja-huoltovarmuutta.pdf.
- Lehtinen, Julia, Johanna Linnolahti, Päivi Luhtanen & Minna Myllyntausta. 2022. "Lääkkeiden saatavuus Suomessa: Katsaus lääkkeiden saatavuushäiriöihin." Fimea kehittää, arvioi ja informoi -julkaisusarja 8/2022. Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus Fimea: Kuopio. <https://www.julkari.fi/handle/10024/144422>.
- Lehtinen, Julia, Timo Mauriala & Katja Lindgren-Äimänen. 2025. "Miltä lääkkeiden saatavuus näytti vuonna 2024?" *Sic! Fimea*, 15. tammikuuta. <https://sic.fimea.fi/-/milta-laakkeiden-saatavuus-naytti-vuonna-2024->.
- Lehtonen, Heikki, Aino Assmuth, Kauko Koikkalainen, Antti Miettinen, Antti Mutanen, Raisa Mäkipää, Mika Nieminen, ym. 2022. *Tehokkaat ohjauskeinot maa- ja metsätalouden ilmastovaikutusten edistämiseksi*. Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/11111/13102>.
- Lehtonen, Heikki & Janne Rämö. 2023. "Development towards Low Carbon and Sustainable Agriculture in Finland Is Possible with Moderate Changes in Land Use and Diets." *Sustainability Science* 18 (1): 425–39. doi:10.1007/s11625-022-01244-6.
- Lehtonen, Satu. 2020. "Lannoitteiden hiilijalanjäljissä on isot erot – näistä syistä päästöt johtuvat." *Maaseudun tulevaisuus*, 13. huhtikuuta. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/1d763796-487c-5220-ab43-1c53faf0bc86>.
- Lemola, Riitta, Risto Uusitalo, Sari Luostarinen, Elina Tampio, Johanna Laakso, Eeva Lehtonen, Annaliina Skyttä & Eila Turtola. 2023. *Fosforin kierrätyksen tarve ja potentiaali kasvintuotannossa: Synteesiraportti*. Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/11111/3235>.
- Lenton, T. M., M. Milkoreit, Simon Willcock, J. F. Abrams, D. I. Armstrong McKay, J. E. Buxton, J. F. Donges, ym., eds. 2025. "The Global Tipping Points Report 2025." University of Exeter. <https://global-tipping-points.org/>.
- Leppälä, Johanna, Elina Nurni, Mika Tähtikarhu, Marjo Keskitalo, Hannu Känkänen, Tuula Larmola, Riitta Lemola, ym. 2026. *Synteesiraportti: Tavoitteena maan kasvikunnan parantaminen: Uudet tiedot ja menetelmät maatalouden ympäristövaikutusten hallintaan*. Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/11111/103769>.
- Leppänen, Mikko. 2024. "Putin väläytti vientirajoituksia uraanille, titaanille ja nikkelille." *Yle Uutiset*, 11. syyskuuta. <https://yle.fi/a/74-20111017>.
- Letzing, John. 2024. "Governments Want to Make Green Good for Business Locally, without Stalling Economic Progress Globally." *World Economic Forum*, 17. huhtikuuta. <https://www.weforum.org/agenda/2024/04/governments-green-business-economic-progress-globally/>.
- Leung, Adrian. 2025. "CATL Confirms 2026 Large-Scale Sodium-Ion Battery Deployment in Multiple Sectors." *CarNewsChina.Com*, 28. joulukuuta. <https://carnewschina.com/2025/12/28/catl-confirms-2026-large-scale-sodium-ion-battery-deployment-in-multiple-sectors/>.
- Lewis, Joanna I. 2024. "The Climate Risk of Green Industrial Policy." *Current History* 123 (849): 14–19. doi:10.1525/curh.2024.123.849.14.
- Lewis, Simon & Daphne Psaledakis. 2025. "us Eases Some Sanctions on Belarus, Including for Lukashenko's Aircraft." *Reuters*, 4. marraskuuta. <https://www.reuters.com/world/us-eases-some-sanctions-belarus-including-lukashenkos-aircraft-2025-11-04/>.
- Li, Sanorita. 2022. "China's health-technology industry update." *Ulkoministeriö*, 13. heinäkuuta. https://um.fi/edustustojen-raportit-maittain/-/asset_publisher/Ufd18Y5tJqX1/content/china-s-health-technology-industry-update/384951.
- Lindholm, Petteri & Antti Parviala. 2025. "Fortumin Rauramo: Uusi ydinvoimala vaatisi kaksinkertaista sähkön hintaa." *Yle Uutiset*, 24. maaliskuuta. <https://yle.fi/a/74-20150544>.
- Linn, Joshua & Beia Spiller. 2025. "Import Tariffs and the Market for Vehicles." Resources for the Future. Report 25-10. <https://www.rff.org/publications/reports/import-tariffs-and-the-market-for-vehicles/>.
- Lintinen, Panu. 2023. "Critical and Strategic Metals and Minerals in Nordic Countries: Raw Materials for the 21st Century." Geologian tutkimuskeskus GTK. https://www.gtk.fi/app/uploads/2023/09/Critical_metals_report_P.pdf.
- Liu, Angus. 2025. "Trump Administration Launches Pharma Tariff Investigation." *Fierce Pharma*, 15. huhtikuuta. <https://www.fiercepharma.com/pharma/trump-administration-launches-national-security-investigation-pharmaceuticals-paving-way>.
- Liu, Jianguo, Vanessa Hull, Mateus Batistella, Ruth DeFries, Thomas Dietz, Feng Fu, Thomas W. Hertel, ym. 2013. "Framing Sustainability in a Telecoupled World." *Ecology and Society* 18 (2). <https://www.jstor.org/stable/26269331>.
- Lobell, David B. & Stefania Di Tommaso. 2025. "A Half-Century of Climate Change in Major Agricultural Regions: Trends, Impacts, and Surprises." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 122 (20): e2502789122. doi:10.1073/pnas.2502789122.

- Logan, Sarah & Theophilus Acheampong. 2025. "From Ore to More: Mineral Partnerships for African Industrialisation." *European Council on Foreign Relations*, 28. elokuuta. <https://ecfr.eu/publication/from-ore-to-more-mineral-partnerships-for-african-industrialisation/>.
- Lu, Christina. 2025. "China and the Taliban Team Up on Copper." *Foreign Policy*, 18. helmikuuta. <https://foreignpolicy.com/2024/09/10/china-taliban-copper-afghanistan-economy-minerals-mes-aynak/>.
- Luoma, Raimo. 2024. "Analyysi EU:N Valtiontuista – Eväitä Suomen Isoihin Valintoihin." *Elinkeinoelämän keskusliitto*. https://ek.fi/wp-content/uploads/2024/02/EK_LUOMA_Analyysi-EUN-valtioneuista_FINAL.pdf.
- Luomanperä, Seija. 2019. "Siilinjärven Kipsi on Tutkitusti Puhdasta." *SAVE: Saaristomeren Vedenlaadun Parantaminen Peltojen Kipsikäsittelyllä*. <https://blogs.helsinki.fi/save-kipsihanke/2019/01/08/siilinjarven-kipsi-on-tutkitusti-puhdasta/>.
- Luonnonvarakeskus [Luke]. 2025. "Käytössä oleva maatalousmaa 2024 lopullinen ja 2025 ennako." *Luonnonvarakeskus*, 26. kesäkuuta. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/kaytossa-oleva-maatalousmaa-kaytossa-oleva-maatalousmaa-2024-lopullinen-ja-2025-ennako>.
- . n.d.a. "Kasviravinteiden myynti maataloilille." *Tilastotietokanta*. Luonnonvarakeskus. https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__08a%20CAP-indikaattorit__06%20Tehokas%20ymp%C3%A4rist%C3%B6nhoido%20ja%20suojelu__03%20Maatalousmaan%20ravinnetase/02_Kasviravinteiden_myynti.px/.
- . n.d.b. "Ravinteiden kierrätyksen indikaattori." *Luonnonvarakeskus*. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/indikaattorit/ravinteiden-kierratyksen-indikaattori>.
- Luostarinen, Sari. n.d. "Lanta." *Luonnonvarakeskus*. <https://www.luke.fi/fi/luonnonvaratieto/tiedetta-ja-tietoa-luonnonvaroista-luonnonvaroista/biomassaatlask/biomassaatlaksen-biomassat/lanta>.
- Luostarinen, Sari, Eero Sillasto, Olli Niskanen, Risto Uusitalo, Perttu Virkajärvi, Tapio Salo, Kari Ylivainio, ym. 2026. *Lantapoikkeuksen talous- ja ympäristövaikutukset*. Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/11111/103823>.
- Luostarinen, Sari, Elina Tampio, Olli Niskanen, Kauko Koikkalainen, Jussi Kauppi, Helena Valve, Tapio Salo & Kari Ylivainio. 2019. *Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2019. Luonnonvarakeskus. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-777-0>.
- Lupoff, Peter. 2025. "Investors Need to Understand China's Long Game in Green Tech." *Trellis*, 3. joulukuuta. <https://trellis.net/article/investors-see-chinas-long-game-in-green-tech/>.
- Luukkonen, Elisa. 2023. "Lannoitteiden hintakriisi vaatii tarkastelemaan koko markkinoiden toimintaa." *Kilpailu- ja kuluttajavirasto*. Kilpailu- ja kuluttajavirasto, 21. huhtikuuta. <https://www.kkv.fi/blogit/kkv-blogi/lannoitteiden-hintakriisi-vaatii-tarkastelemaan-koko-markkinoiden-toimintaa/>.
- Lv, Amy, Divya Rajagopal, Ernest Scheyder, Divya Rajagopal & Ernest Scheyder. 2024. "Rattled by China, West Scrambles to Rejig Critical Minerals Supply Chains." *Reuters*, 6. joulukuuta. <https://www.reuters.com/markets/commodities/rattled-by-china-west-scrambles-rejig-critical-minerals-supply-chains-2024-12-06/>.
- Lähde, Ville, Tere Vadén, Tero Toivanen, Paavo Järvensivu & Jussi T. Eronen. 2023. "The Crises Inherent in the Success of the Global Food System." *Ecology and Society* 28 (4). doi:10.5751/ES-14624-280416.
- Läkelä, 395/1987. Annettu 10. huhtikuuta 1987 Helsingissä. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1987/395>.
- Lääketeollisuus ry. 2025. "EU:n yhdyskuntajätevesidirektiivistä pahimmillaan lähes miljardiluokan lisäkustannus ja vakava uhka lääkkeiden saatavuudelle." 13. helmikuuta. <https://www.laaketeollisuus.fi/uutishuone/uutiset/eun-yhdyskuntajatevesidirektiivistä-pahimmillaan-lahes-miljardiluokan-lisakustannus-ja-vakava-uhka-laakkeiden-saatavuudelle.html>.
- Maa- ja metsätalousministeriö [MMM]. n.d. "Ravinteiden kierrätyksen kokeiluohjelma." *Maa- ja metsätalousministeriö*. <https://mmm.fi/ravinteetkiertoon/ravinteiden-kierratyksen-kokeiluohjelma>.
- . 2022. "Ruoka on turvallisuuden peruspilari." *Valtioneuvosto*, 7. huhtikuuta. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410837/ruoka-on-turvallisuuden-peruspilari>.
- . 2025. "Lannoitevalmisteet." *Maa- ja metsätalousministeriö*. <https://mmm.fi/elaimet-kasvit/lannoitevalmisteet>.
- . n.d. "Ravinteiden kierrätyksen kokeiluohjelma." *Maa- ja metsätalousministeriö*. Maa- ja metsätalousministeriö. <https://mmm.fi/ravinteetkiertoon/ravinteiden-kierratyksen-kokeiluohjelma>.
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 964/2023. Annettu 10. lokakuuta 2023 Helsingissä. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2023/964>.
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta 357/2025. Annettu 18. kesäkuuta 2025 Helsingissä. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2025/357>.
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteita koskevasta toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta 965/2023. Annettu 6. lokakuuta 2023 Helsingissä. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2023/965>.

- Majkut, Joseph, Jane Nakano, Maria J. Krol-Sinclair, Thomas Hale & Sophie Coste. 2023. "Building Larger and More Diverse Supply Chains for Energy Minerals." *Center for Strategic and International Studies*, 19. heinäkuuta. <https://www.csis.org/analysis/building-larger-and-more-diverse-supply-chains-energy-minerals>.
- Malik, Ammar A., Bradley Parks, Brooke Russell, Joyce Jiahui Lin, Katherine Walsh, Kyra Solomon, Sheng Zhang, Thai-Binh Elston & Seth Goodman. 2021. *Banking on the Belt and Road: Insights from a New Global Dataset of 13,427 Chinese Development Projects*. Williamsburg: AidData at William & Mary. <https://www.aiddata.org/publications/banking-on-the-belt-and-road>.
- Market Observatory for Energy of the European Commission. 2025. "Quarterly Report on European Gas Markets." European Commission. Volume 18 (issue 1, covering first quarter of 2025). https://europeangashub.com/wp-content/uploads/2025/07/Quarterly_Report_on_European_Gas_Markets_Q1-2025.pdf.
- Markkinointiutiset. 2024. "Kauppaketjut jarruttavat ruoan kestävyysmurrosta vegaanituotteiden hinnoittelulla, väittää uutuskirja – näin S-ryhmä ja Kesko vastaavat." Markkinointiutiset, 4. syyskuuta. <https://www.markkinointiutiset.fi/artikkelit/kauppaketjut-jarruttavat-ruoan-kestavyysmurrosta-vegaanituotteiden-hinnoittelulla-vaittaa-uutuskirja--nain-s-ryhma-ja-kesko-vastaavat>.
- Martinen, Sanna, Olli Venelampi, Antti Iho, Kauko Koikkalainen, Eeva Lehtonen, Sari Luostarinen, Kimmo Rasa, ym. 2017. *Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa: Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi Suomessa*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Luonnonvarakeskus. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-437-3>.
- Martuscelli, Carlo. 2023. "How China Could Choke EU Supply of Medicines." *POLITICO*, 24. toukokuuta. <https://www.politico.eu/article/china-taiwan-conflict-health-care-could-choke-europes-supply-of-medicines-warn-producers/>.
- Mason, Leah, Corinne Unger, Aleta Lederwasch, Hala Razian, Laura Wynne & Damien Giurco. 2013. "Adapting to Climate Risks and Extreme Weather: A Guide for Mining and Minerals Industry Professionals." National Climate Change Adaptation Research Facility. NCCARF Publication 53/13. https://www.preventionweb.net/files/34360_s3bib1masonadaptingclimaterisksmini.pdf.
- Matcha, Ganeswar. 2025. "The Global Risks of America's 'Most-Favored-Nation' Drug Pricing Policy." *Petrie-Flom Center*, 22. toukokuuta. <https://petrieflom.law.harvard.edu/2025/05/22/the-global-risks-of-americas-most-favored-nation-drug-pricing-policy/>.
- Mattlin, Mikael, Shaun Breslin, Elina Sinkkonen, Liisa Kauppila, Björn Cappelin, Ines Söderström & Matt Ferchen. 2023. "Enhancing Small State Preparedness: Risks of Foreign Ownership, Supply Disruptions and Technological Dependencies." Finnish Institute of International Affairs. <https://fiia.fi/en/publication/enhancing-small-state-preparedness>.
- Maus, Victor & Tim T. Werner. 2024. "Impacts for Half of the World's Mining Areas Are Undocumented." *Nature* 625 (7993): 26–29. doi:10.1038/d41586-023-04090-3.
- Mazzocco, Ilaria & Gregor Sebastian. 2023. "Electric Shock: Interpreting China's Electric Vehicle Export Boom." Center for Strategic & International Studies. csis Briefs. <https://www.csis.org/analysis/electric-shock-interpreting-chinas-electric-vehicle-export-boom>.
- McMorrow, Ryan & Wenjie Ding. 2025. "China's Export Boom Sparks Record Number of Trade Challenges." *Financial Times*, 31. maaliskuuta. <https://www.ft.com/content/c4bce44e-9c66-4d74-bebd-0f35f0ea007f>.
- McMorrow, Ryan & Joe Leahy. 2025. "China Cracks down on Foreign Companies Stockpiling Rare Earths." *Financial Times*, 15. elokuuta. <https://www.ft.com/content/9f9e222d-f351-4e0f-be9b-aab309562c6c>.
- McMorrow, Ryan & Demetri Sevastopulo. 2025. "China Unveils Sweeping Rare-Earth Export Controls to Protect 'National Security'." *Financial Times*, 10. lokakuuta. <https://www.ft.com/content/c4b2c5d9-c82f-401e-b763-bc9581019cb7>.
- Medicines for Europe. 2024. "Medicines Shortages and National Stockpiling Requirements in the EU." Position Paper. https://www.medicinesforeurope.com/wp-content/uploads/2024/04/240327_Position-paper-stockpiling_FINAL3.pdf.
- Menegat, Stefano, Alicia Ledo & Reyes Tirado. 2022. "Greenhouse Gas Emissions from Global Production and Use of Nitrogen Synthetic Fertilisers in Agriculture." *Scientific Reports* 12 (1): 14490. doi:10.1038/s41598-022-18773-w.
- Mikola, Juha & Tarja Silfver. 2025. "Maankäyttösektori pysyy suurena päästölähteenä, mutta metsät ovat pieni nielu kasvihuonekaasuinventaarion 2024 ennakkotiedoissa." *Luonnonvarakeskus*, 15. joulukuuta. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/maankayttosektori-pysyy-suurena-paastolahteena-mutta-metsat-ovat-pieni-nielu-kasvihuonekaasuinventaarion-2024-ennakkotiedoissa>.
- Mingolla, Stefano & Lorenzo Rosa. 2025. "Low-Carbon Ammonia Production Is Essential for Resilient and Sustainable Agriculture." *Nature Food* 6 (6): 610–21. doi:10.1038/s43016-025-01125-y.

- Ministry of Commerce of the People's Republic of China [中华人民共和国商务部]. 2025. "商务部 海关总署公告2025年第10号 公布对钨、碲、铋、钼、钽相关物项实施出口管制的决定." Ministry of Commerce of the People's Republic of China [中华人民共和国商务部]. 4. helmikuuta. https://www.mofcom.gov.cn/zwgk/zcfb/art/2025/art_e623090907fc4e1092f0a4db72f57b95.html.
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2024. "Korea and Australia Bolster Clean Energy Cooperation Commemorating 10th Anniversary of Bilateral FTA's Entry into Force." *Ministry of Trade, Industry and Energy*, 2. syyskuuta. <http://www.motie.go.kr>.
- Monsour, Molly, Emily Clarke-Rubright, Wil Lieberman-Cribbin, Christopher Timmins, Emanuela Taioli, Rebecca M. Schwartz, Samantha S. Corley, Anna M. Laucis & Rajendra A. Morey. 2022. "The Impact of Climate Change on the Prevalence of Mental Illness Symptoms." *Journal of Affective Disorders* 300: 430–40. doi:10.1016/j.jad.2021.12.124.
- Moors, Camellia & Kip Keen. 2022. "Looming Copper Shortage Shifts Attention to Alternative Supply Solutions." *S&P Global*. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/looming-copper-shortage-shifts-attention-to-alternative-supply-solutions-71920158>.
- Mora, Camilo, Tristan McKenzie, Isabella M. Gaw, Jacqueline M. Dean, Hannah von Hammerstein, Tabatha A. Knudson, Renee O. Setter, ym. 2022. "Over Half of Known Human Pathogenic Diseases Can Be Aggravated by Climate Change." *Nature Climate Change* 12 (9): 869–75. doi:10.1038/s41558-022-01426-1.
- Morão, Hugo. 2025. "The Economic Consequences of Fertilizer Supply Shocks." *Food Policy* 133: 102835. doi:10.1016/j.foodpol.2025.102835.
- Mordecai, Erin A., Sadie J. Ryan, Jamie M. Caldwell, Melisa M. Shah & A. Desiree LaBeaud. 2020. "Climate Change Could Shift Disease Burden from Malaria to Arboviruses in Africa." *The Lancet Planetary Health* 4 (9): e416–23. doi:10.1016/S2542-5196(20)30178-9.
- Morgan, Alexis J. & Rylan Dobson. 2020. "An Analysis of Water Risk in the Mining Sector." wwf Germany & wwf Sweden. Water Risk Filter Research Series Volume 1. https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/analysis_of_water_risk_in_mining_sector_wwf_water_risk_filter_research_series_.pdf.
- Morris, Charles. 2026. "CATL to Deploy Sodium-Ion EV Batteries at Commercial Scale in 2026." *Charged EVs*, 5. tammikuuta. <https://chargedevs.com/newswire/catl-to-deploy-sodium-ion-ev-batteries-at-commercial-scale-in-2026/>.
- Moser, Susanne C. & Juliette A. Finzi Hart. 2015. "The Long Arm of Climate Change: Societal Teleconnections and the Future of Climate Change Impacts Studies." *Climatic Change* 129 (1): 13–26. doi:10.1007/s10584-015-1328-z.
- Motiva. 2024. "Akut." *Motiva*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viiisaasti/ajoneuvotekniikka/akut.
- Mukherji, Biman. 2026. "Asia Braces for Food Shortages as 'Super El Nino' and Iran War Collide." *South China Morning Post*, 22. huhtikuuta. <https://www.scmp.com/week-asia/health-environment/article/3350988/asia-braces-food-shortages-super-el-nino-iran-war-effects-collide>.
- Müller-Hoff, Claudia. 2021. "Human Rights Fitness of the Auditing and Certification Industry? A Cross-Sectoral Analysis of Current Challenges and Possible Responses." European Center for Constitutional and Human Rights e.V. (ECCHR). https://www.ecchr.eu/fileadmin/Publikationen/ECCHR_BfDW_MIS_AUDITS_EN.pdf.
- MundiCare. 2020. "Where Do Our Active Pharmaceutical Ingredients Come from? – A World Map of API Production." Pro Generika. https://www.progenerika.de/wp-content/uploads/2025/05/API-Study_long-version_EN.pdf.
- Mäkelä, Antti, Tapio Tourula, Heikki Tuomenvirta, Pauli Jokinen, Terhi Laurila, Ari-Juhani Punkka, Minna Huuskonen, Tuomo Bergman & Hannu Valta. 2022. *Ilmastomuutoksen vaikutuksia Suomen huoltovarmuudelle*. Raportteja 2022:3. Ilmatieteen laitos. <http://hdl.handle.net/10138/352762>.
- Nassar, Nedal T., Ensieh Shojaeddini, Elisa Alonso, Brian Jaskula & Amy Tolcin. 2024. "Quantifying Potential Effects of China's Gallium and Germanium Export Restrictions on the U.S. Economy." U.S. Geological Survey. U.S. Geological Survey Open-File Report 2024–1057. doi:10.3133/ofr20241057.
- Nature. 2025. "Mines for a Clean-Energy Metal Have a Surprise Climate Effect." *Nature* 637 (8047): 767–767. doi:10.1038/d41586-025-00042-1.
- Nedelciu, C. E., K. V. Ragnarsdottir, P. Schlyter & I. Stjernquist. 2020. "Global Phosphorus Supply Chain Dynamics: Assessing Regional Impact to 2050." *Global Food Security* 26: 100426. doi:10.1016/j.gfs.2020.100426.
- Nedopil, Christoph. 2025. "Countries of the Belt and Road Initiative (BRI)." *Green Finance & Development Center*. <https://greenfdc.org/countries-of-the-belt-and-road-initiative-bri/>.
- Nereim, Vivian. 2026. "Vital Desalination Plants in Iran and Bahrain Are Attacked." *The New York Times*, 8. maaliskuuta. <https://www.nytimes.com/2026/03/08/world/middleeast/desalination-plants-iran-bahrain.html>.
- Ng, Abigail. 2022. "Signs of Forced Labor Found in China's EV Battery Supply Chain: Report." *CNBC*, 21. kesäkuuta. <https://www.cnn.com/2022/06/22/signs-of-forced-labor-found-in-chinas-ev-battery-supply-chain-report.html>.

- Niemi, Jyrki, Merja Saarinen & Xavier Irz. 2024. "Tutkimus: Hinta ja tulot eivät ole este ympäristöystävällisen ja ravitsemuksellisesti riittävän ruokavaliolomaksumiselle." *Luonnonvarakeskus*, 19. kesäkuuta. <https://www.luke.fi/uutiset/tutkimus-hinta-ja-tulot-eivat-ole-este-ymparistoystavallisen-ja-ravitsemuksellisesti-riittavan-ruokavaliolomaksumiselle>.
- Nieminen, Tommi. 2024. "Pikkukaupungin tehdas muuttui yhdessä yössä niin halveksittavaksi, että kukaan ei tahtois puhua siitä – "Nolottaa"" *Helsingin Sanomat*, 8. joulukuuta. <https://www.hs.fi/feature/art-2000010755205.html>.
- Niinivuo, Samuli. 2024. "Sähkön hinta palautui 2010-luvun tasolle – Pakkasjakson hirmuhintojen vaikutus vuosihintaan oli liki yhdeksän prosenttia." *Helsingin Sanomat*, 30. joulukuuta. <https://www.hs.fi/talous/art-2000010933532.html>.
- Nikula, Taina. 2025. "Ruusuja ja risuja EU:n komission analyysissä kiertotaloudesta." *Kiertotalous-Suomi*, 25. elokuuta. <https://kiertotaloussuomi.fi/artikkelit/2025/08/25/ruusuja-ja-risuja-eun-komission-analyysissa-kiertotaloudesta/>.
- Niskanen, Olli. 2021. "Väkilannoitteet." Teoksessa *Maatalouden tuotantopanosten saatavuuden riskit: Kriiseihin varautuminen ruokahuollon turvaamisessa*, Csaba Jansik, Heli Huuskonen, Maija Karhapää, Marjo Keskitalo, Jarkko Leppälä, Jyrki Niemi, Olli Niskanen, Sini Perttilä & Marketta Rinne, 32–37. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 76/2021. Helsinki: Luonnonvarakeskus.
- . 2022. "Tyypin globaali kauppa ja Venäjän tuonnin tyrehtymisen vaikutukset hintoihin, saatavuuteen ja Suomen lannoitehuoltovarmuuteen." Teoksessa *Maatalouden typpihaaste – Vaihtoehtoja ja ratkaisuja*, toim. Eeva Vainio, 20–28. Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus.
- Noor, Dharna. 2026. "What Does the Iran War Mean for Clean Energy Transition?" *The Guardian*, 26. maaliskuuta. <https://www.theguardian.com/environment/2026/mar/26/iran-war-clean-energy-transition>.
- Nott, Elly. 2022. "Ukraine Invasion: Why I Fear for Ukraine's Healthcare Workers." *BMJ* 376: o605. doi:10.1136/bmj.o605.
- O'Carroll, Lisa. 2025. "Trump's 15% Tariff on Medicines Will Harm Patients, Say EU Drugmakers." *The Guardian*, 29. heinäkuuta. <https://www.theguardian.com/business/2025/jul/29/european-pharmaceutical-firms-criticise-trump-tariffs-on-medicines-as-blunt-instrument>.
- OECD. 2022. "The Role of Sustainability Initiatives in Mandatory Due Diligence: Background Note on Regulatory Developments Concerning Due Diligence for Responsible Business Conduct." OECD. <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-sub-issues/due-diligence-guidance-for-responsible-business-conduct/the-role-of-sustainability-initiatives-in-mandatory-due-diligence-note-for-policy-makers.pdf>.
- Oger, Antoine. 2022. "The Fertiliser Transition: Addressing Social and Environmental Spillovers in the Fertiliser Sector." Institute for European Environmental Policy. https://ieep.eu/wp-content/uploads/2022/11/The-fertiliser-transition_IEEP-2022.pdf.
- Ojala, Lauri, Tomi Solakivi, Reima Helminen, Sakari Kajander & Aleks Paimander. 2023. "Suomen merikuljetusten huoltovarmuuskapasiteetti." Huoltovarmuusorganisaatio. <https://www.huoltovarmuuskampus.fi/files/2e2cd369a5514ec6cbbae2569a02a5564ac5474/suomen-merikuljetusten-huoltovarmuus.pdf>.
- Onali, Alma. 2022b. "Pakotteet lannoiteoligarkkeja vastaan uhkaavat Euroopan ruuantuotantoa." *Helsingin Sanomat*. <https://www.hs.fi/talous/art-2000008673622.html>.
- . 2022a. "Ruoka on Putinin käsissä vahva ase, ja se uhkaa jo Suomen huoltovarmuutta." *Helsingin Sanomat*. <https://www.hs.fi/talous/art-2000008670717.html>.
- Ouikhalfan, Mohammed, Omar Lakbita, Achraf Delhali, Ayalew H. Assen & Youssef Belmabkhout. 2022. "Toward Net-Zero Emission Fertilizers Industry: Greenhouse Gas Emission Analyses and Decarbonization Solutions." *Energy & Fuels* 36 (8): 4198–4223. doi:10.1021/acs.energyfuels.2c00238.
- Outokumpu. 2025. "Circular Economy." <https://publicweboutokumpucom-weu-prod-cd.azurewebsites.net/en/sustainability/environment/circular-economy>.
- P2X Solutions. 2025. "P2X Solutions käynnisti Harjavallan laitoksen vihreän vedyn kaupallisen toiminnan ensimmäisenä Suomessa." *P2X Solutions*. <https://p2x.fi/p2x-solutions-kaynnisti-harjavallan-laitoksen- vihrean-vedyn-kaupallisen-toiminnan-ensimmaisena-suomessa/>.
- Paakkanen, Mikko & Rebekka Salmela. 2025. "EU alustavaan sopuun kaasun tuonnin lopettamisesta Venäjältä, Unkari ja Slovakia vastustavat." *Helsingin Sanomat*, 3. joulukuuta. <https://www.hs.fi/politiikka/art-2000011665878.html>.

- Pahalvi, Heena Nisar, Lone Rafiya, Sumaira Rashid, Bisma Nisar & Azra N. Kamili. 2021. "Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health." In *Microbiota and Biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly Tools for Reclamation of Degraded Soil Environments*, toim. Gowhar Hamid Dar, Rouf Ahmad Bhat, Mohammad Aneesul Mehmood & Khalid Rehman Hakeem, 1–20. Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-61010-4_1.
- Partridge, Joanna. 2026. "'Food Security Timebomb': A Visual Guide to the Gulf Fertiliser Blockade." *The Guardian*, 3. huhtikuuta. <https://www.theguardian.com/world/2026/apr/03/visual-guide-gulf-fertiliser-blockade>.
- Patel, Anika. 2024. "Q&A: What Could a us-China Trade War Mean for the Energy Transition?" *Carbon Brief*, 10. joulukuuta. <https://www.carbonbrief.org/qa-what-could-a-us-china-trade-war-mean-for-the-energy-transition/>.
- . 2025. "China Briefing: New Export Controls; IEA China Projections; Provincial 'Doc 136' Progress." <https://preview.mailerlite.io/emails/webview/249617/168426290663131004>.
- Patel, Anika & Karen Teo. 2026. "Q&A: Can China Turn Hydrogen into Its next Clean-Energy Industry?" *Carbon Brief*, 27. toukokuuta. <https://www.carbonbrief.org/qa-can-china-turn-hydrogen-into-its-next-clean-energy-industry/>.
- Peiponen, Pasi. 2025. "'Päättäjät hikoilevat nyt' – venäläisen alumiinin tulo jatkuu pakotteista huolimatta." *Yle Uutiset*, 11. maaliskuuta. <https://yle.fi/a/74-20148705>.
- . 2024b. "Nornickelin venäläinen omistaja ja pääjohtaja: En ymmärrä miten Harjavallan tehdas toimii pakotteiden takia." *Yle Uutiset*. <https://yle.fi/a/74-20100554>.
- . 2024a. "Tehdas Suomessa jalostaa venäläistä nikkeliä ja palauttaa sotateollisuudelle yleistä kuparia – näin toimitusjohtaja kommentoi." *Yle Uutiset*. <https://yle.fi/a/74-20079921>.
- Persona, Alberto. 2025. "The Eu's Phosphate Conundrum." European Sustainable Phosphorus Platform. https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/Persona%20Fertecon%20sp%20EU%20phosphate%20conundrum%2015_4_2025.pdf.
- Pesonen, Liisa, Katarina Pussi, Tapio Salo & Antti Suokannas. 2022. "Täsmäviljelyn ja -lannoituksen potentiaali ja optimointi – tuotantopanoksen tarkka kohdennus." Teoksessa *Maatalouden tyyppihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja. Synteesiraportti*, toim. Eeva Vainio, 59–64. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-458-6>.
- Phillips, Michael M. 2024. "How the U.S. Is Derailing China's Influence in Africa." *Wall Street Journal*, 21. tammikuuta. <https://www.wsj.com/world/africa/angola-africa-china-us-railroad-f0e23523>.
- Pierson, David, Keith Bradsher & Ana Swanson. 2024. "China Bans Rare Mineral Exports to the U.S." *The New York Times*, 3. joulukuuta. <https://www.nytimes.com/2024/12/03/world/asia/china-minerals-semiconductors.html>.
- Pikkupeura, Risto. 2026. "Suomen suurin maatalojen omistama biokaasulaitos vihittiin käyttöön Ranualla." *Lapin Kansa*, 21. helmikuuta. <https://www.lapinkansa.fi/suomen-suurin-maatilojen-omistama-biokaasulaitos-v/12625523>.
- Planetary Boundaries Science [PbScience]. 2025. "Planetary Health Check 2025." Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK). https://publications.pik-potsdam.de/rest/items/item_32589_5/component/file_33151/content.
- Pohjanpalo, Virve. 2019. "Mahtuisivatko lehmät luonnonlaitumille?" *Helsingin yliopisto*, 9. joulukuuta. <https://www.helsinki.fi/fi/uutiset/elamantieteet/mahtuisivatko-lehmat-luonnonlaitumille>.
- . 2025. "Maatalouspolitiikan mahdollisuudet ovat nyt isot: herneen ja härkäpavun lisäviljelystä on saatavissa useita päällekkäisiä hyötyjä." *Helsingin yliopisto*, 15. syyskuuta. <https://www.helsinki.fi/fi/uutiset/kestavyyys/maatalouspolitiikan-mahdollisuudet-ovat-nyt-isot-herneen-ja-harkapavun-lisaviljelysta-saatavissa-useita-paallekkaisia-hyotyja>.
- Pohjolan Voima. 2026. "Pumppuvoimalaitoshanke Kemijärvelle." *Pohjolan Voima*. <https://www.pohjolanvoima.fi/tuotamme-sahkoa-ja-lampoa/vesivoima/puhti-pumppuvoimalaitoshanke-kemijarven-alueelle/>.
- Pokki, Jussi. 2023. "Mineraalisten raaka-aineiden ulkomaankauppa." Teoksessa *Kaivosalan toimialaraportti*, toim. Heino Vasara, 64–83. Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165277>.
- Prudeau, Gérard. 2025. "Letter: EU Must Not Buy into This False Fertiliser Narrative." *Financial Times*, 17. helmikuuta. <https://www.ft.com/content/47e0711e-b04d-4c0f-ae61-a3bb7da0a370>.
- PwC. 2023. "Mine 2023: 20th Edition. The Era of Reinvention." PwC. <https://www.pwc.com/gx/en/issues/tla/content/PwC-Mine-Report-2023.pdf>.
- . 2024. "Climate Risks to Nine Key Commodities: Protecting People and Prosperity." PwC. <https://www.pwc.com/gx/en/issues/esg/people-and-prosperity-at-risk.pdf>.
- Päivärinta, Essi, Suvi T. Itkonen, Tiina Pellinen, Mikko Lehtovirta, Majaliisa Erkkola & Anne-Maria Pajari. 2020. "Replacing Animal-Based Proteins with Plant-Based Proteins Changes the Composition of a Whole Nordic Diet—A Randomised Clinical Trial in Healthy Finnish Adults." *Nutrients* 12 (4): 943. doi:10.3390/nut12040943.

- Pöyhönen, Sari. 2024. "Suomen naapuriin kehitetään litium-kaivosta – tutkijan mukaan voi olla merkki Venäjän syvenevästä Kiina-riippuvuudesta." *Yle Uutiset*, 6. elokuuta. <https://yle.fi/a/74-20103271>.
- Qarahasanlou, Ali Nouri, A. H. S. Garmabaki, Ahmad Kasraei & Javad Barabady. 2024. "Deciphering Climate Change Impacts on Resource Extraction Supply Chain: A Systematic Review." *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. doi:10.1007/s13198-024-02398-5.
- Quan, Quan, Fujin Yi & Huilin Liu. 2024. "Fertilizer Response to Climate Change: Evidence from Corn Production in China." *Science of The Total Environment* 928: 172226. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.172226.
- Quante, Lennart, Sven N. Willner, Christian Otto & Anders Levermann. 2024. "Global Economic Impact of Weather Variability on the Rich and the Poor." *Nature Sustainability* 7 (11): 1419–28. doi:10.1038/s41893-024-01430-7.
- Quiroz, Yanine. 2025. "Q&A: The Role of Soil Health in Food Security and Tackling Climate Change." *Carbon Brief*, 29. lokakuuta. <https://www.carbonbrief.org/qa-the-role-of-soil-health-in-food-security-and-tackling-climate-change/>.
- Quitow, Rainer, Margarita Balmaceda & Andreas Goldthau. 2025. "The Nexus of Geopolitics, Decarbonization, and Food Security Gives Rise to Distinct Challenges across Fertilizer Supply Chains." *One Earth* 8 (1): 101173. doi:10.1016/j.oneear.2024.12.009.
- Raghavendran, Vimala. 2022. "How Extreme Weather Thousands of Miles Away Can Affect Your Medicines." *Quality Matters | U.S. Pharmacopeia Blog*. U.S. Pharmacopeia.
- Ragonnaud, Guillaume. 2025. "Powering the EU's Future: Strengthening the Battery Industry." Briefing. European Parliamentary Research Service. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/767214/EPRS_BRI\(2025\)767214_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/767214/EPRS_BRI(2025)767214_EN.pdf).
- Rathi, Akshat, Naureen Malik & Tiffany Tsoi. 2025. "Heathrow Shutdown Shows How Electrified World Depends on One Device." *Bloomberg.Com*, 25. maaliskuuta. <https://www.bloomberg.com/features/2025-bottlenecks-transformers/>.
- Raza, Werner, Jan Grumiller, Hannes Grohs, Jürgen Essletzbichler & Nico Pintar. 2021. "Post Covid-19 Value Chains: Options for Reshoring Production Back to Europe in a Globalised Economy." European Parliament. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EXPO_STU\(2021\)653626](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EXPO_STU(2021)653626).
- Redshaw, Clare H., Will M. Stahl-Timmins, Lora E. Fleming, Iain Davidson & Michael H. Depledge. 2013. "Potential Changes in Disease Patterns and Pharmaceutical Use in Response to Climate Change." *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* 16 (5): 285–320. doi:10.1080/10937404.2013.802265.
- Reese, April. 2025. "A Revolution Is Sweeping Europe's Farms: Can It Save Agriculture?" *Nature* 645 (8080): 301–3. doi:10.1038/d41586-025-02812-3.
- Regina, Kristiina. 2021. "Miksi turvepeltoja tarvitaan ilmastotalkoisiin?" *Ilmastopaneeli*, 19. elokuuta. <https://ilmastopaneeli.fi/miksi-turvepeltoja-tarvitaan-ilmastotalkoisiin/>.
- Regulation EU 2016/425. Regulation (EU) 2016/425 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2016 on personal protective equipment and repealing Council Directive 89/686/EEC (Text with EEA relevance). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/425/oj/eng>.
- Regulation EU 2017/745. Regulation (EU) 2017/745 of the European Parliament and of the Council of 5 April 2017 on medical devices, amending Directive 2001/83/EC, Regulation (EC) No 178/2002 and Regulation (EC) No 1223/2009 and repealing Council Directives 90/385/EEC and 93/42/EEC (Text with EEA relevance). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32017R0745>.
- Regulation EU 2017/821. Regulation (EU) 2017/821 of the European Parliament and of the Council of 17 May 2017 laying down supply chain due diligence obligations for Union importers of tin, tantalum and tungsten, their ores, and gold originating from conflict-affected and high-risk areas. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/821/oj/eng>.
- Remigio, Richard V., Chengsheng Jiang, Jochen Raimann, Peter Kotanko, Len Usvyat, Frank W. Maddux, Patrick Kinney & Amir Sapkota. 2019. "Association of Extreme Heat Events With Hospital Admission or Mortality Among Patients With End-Stage Renal Disease." *JAMA Network Open* 2 (8): e198904. doi:10.1001/jamanetworkopen.2019.8904.
- Ren, Shuai, César Terrer, Juan Li, Yingfang Cao, Shanshan Yang & Dan Liu. 2024. "Historical Impacts of Grazing on Carbon Stocks and Climate Mitigation Opportunities." *Nature Climate Change* 14 (4): 380–86. doi:10.1038/s41558-024-01957-9.
- Reuters. 2025. "India Scraps Custom Duties on Waste and Scrap of Dozen Critical Minerals." *Reuters*, 1. helmikuuta. <https://www.reuters.com/markets/commodities/india-budget-india-scraps-custom-duties-waste-scrap-dozen-critical-minerals-2025-02-01/>.
- . 2024a. "China to Limit Antimony Exports in Latest Critical Mineral Curbs." *CNN*. <https://www.cnn.com/2024/08/15/tech/china-antimony-export-ban-intl-hnk/index.html>.
- . 2024b. "US Sets Tariffs for Solar Panels from Southeast Asian Nations." *Reuters*. <https://www.reuters.com/business/energy/us-decide-another-round-solar-panel-tariffs-2024-11-29/>.

- Richardson, Katherine, Will Steffen, Wolfgang Lucht, Jørgen Bendtsen, Sarah E. Cornell, Jonathan F. Donges, Markus Drüke, ym. 2023. "Earth beyond Six of Nine Planetary Boundaries." *Science Advances* 9 (37): eadh2458. doi:10.1126/sciadv.adh2458.
- Ridder, Marjolein de, Sijbren de Jong, Joshua Polchar & Stephanie Lingemann. 2012. "Risks and Opportunities in the Global Phosphate Rock Market: Robust Strategies in Times of Uncertainty." The Hague Centre for Strategic Studies (HCSS). Rapport No 17 | 12 | 12. https://hcss.nl/wp-content/uploads/2012/12/Risks_and_Opportunities_in_the_Global_Phosphate_Rock_Market.pdf.
- Ritchie, Hannah. 2023. "Mining Quantities for Low-Carbon Energy Is Hundreds to Thousands of Times Lower than Mining for Fossil Fuels." <https://www.sustainabilitybynumbers.com/p/mining-low-carbon-vs-fossil>.
- Rockström, Johan, Shakuntala Haraksingh Thilsted, Walter C. Willett, Line J. Gordon, Mario Herrero, Christina C. Hicks, Daniel Mason-D'Croz, ym. 2025. "The EAT–Lancet Commission on Healthy, Sustainable, and Just Food Systems." *The Lancet* 406 (10512): 1625–1700. doi:10.1016/S0140-6736(25)01201-2.
- Rodeja, Joan, Fernando Coello, Jordi Sardans & Josep Penuelas. 2025. "The Potash Trilemma: Geopolitics, Market Dynamics, and Global Food Security." *Journal of Sustainable Agriculture and Environment* 4 (1): e70050. doi:10.1002/sae2.70050.
- Rogers, Hannah-Alise. 2025. "Most-Favored-Nation Prescription Drug Pricing Executive Order: Legal Issues." Congressional Research Service. Legal Sidebar LSB11319. <https://www.congress.gov/crs-product/LSB11319>.
- Roms, Vilma & Kai Jääskeläinen. 2025. "Trump ilmoitti tuontitulleista Yhdysvaltain "kaikille" kauppakumppaneille – EU:lle 20 prosenttia, Kiinalle 34 prosenttia." *Yle Uutiset*, 2. huhtikuuta. <https://yle.fi/a/74-20153536>.
- Rosa, Lorenzo. 2025. "Guest Post: How the Global 'Water Gap' Will Grow under Climate Change." *Carbon Brief*. 19. helmikuuta. <https://www.carbonbrief.org/guest-post-how-the-global-water-gap-will-grow-under-climate-change/>.
- Rosa, Lorenzo & Matteo Sangiorgio. 2025. "Global Water Gaps under Future Warming Levels." *Nature Communications* 16 (1): 1192. doi:10.1038/s41467-025-56517-2.
- Rostoum, Elly. 2025. "The Next Critical Mineral Battle: Potash and Phosphate." *CEPA*. 14. marraskuuta. <https://cepa.org/article/the-next-critical-mineral-battle-potash-and-phosphate/>.
- Rowland, Sebastian T., Amelia K. Boehme, Johnathan Rush, Allan C. Just & Marianthi-Anna Kioumourtzoglou. 2020. "Can Ultra Short-Term Changes in Ambient Temperature Trigger Myocardial Infarction?" *Environment International* 143: 105910. doi:10.1016/j.envint.2020.105910.
- Rudman, Andrew I. 2024. "A Bilateral Approach to Address Vulnerability in the Pharmaceutical Supply Chain." Center for Strategic and International Studies. <https://www.csis.org/analysis/bilateral-approach-address-vulnerability-pharmaceutical-supply-chain>.
- Ruohonen, and Pekka Passi. 2014. "Huoltovarmuuskäsitelmä sähkötehon riittävyteen." VALOR Partners Oy.
- Ruokavirasto. 2024. "Sivutuotelainsäädäntö." Ruokavirasto. <https://www.ruokavirasto.fi/elaimet/elaimista-saatavat-sivutuotteet-ja-kuolleet-elaimet/elaimista-saatavat-sivutuotteet/sivutuotelainsaadanto/>.
- . 2026. "Lainsäädäntö." *Ruokavirasto*. <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/lainsaadanto2/>.
- . 2025a. "Haitalliset aineet ja hygienia." *Ruokavirasto*. <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/haitalliset-aineet-ja-hygienia/>.
- . 2025b. "Vegaaninen ruokavalio." *Ruokavirasto*. <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/terveytta-edistava-ruokavalio/ravitsemus-ja-ruokasuositukset/vegaaninen-ruokavalio/>.
- Rüttinger, Lukas, Pia van Ackern, Timon Lepold, Regine Vogt, Andreas Auberger & Dessau-Roßlau (Germany) Umweltbundesamt. 2020. *Impacts of Climate Change on Mining, Related Environmental Risks and Raw Material Supply. Final Report*. UBA-FB--000279/ENG. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau (Germany). <https://inis.iaea.org/records/skw15-5t715>.
- Rüttinger, Lukas, Raquel Munayer, Pia van Ackern & Florian Titze. 2022. "The Nature of Conflict and Peace: The Links between Environment, Security and peace and Their Importance for the United Nations." Gland: WWF International; Berlin: adelphi consult GmbH. https://climate-diplomacy.org/sites/default/files/2022-05/wwf-adelphi_The%20Nature%20of%20Conflict%20and%20Peace_mid%20res_0.pdf.
- Rytteri, Susu, Johan Ekroos, Irina Herzon, Mikko Kuussaari & Aleksi Lehikoinen. 2024. "Maatalousluonnon monimuotoisuutta edistävät ja heikentävät tekijät Suomessa." Suomen luontopaneeli. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 2B/2024. <https://luontopaneeli.fi/wp-content/uploads/2024/06/suomen-luontopaneelin-julkaisuja-2b-2024-maatalousluonnon-monimuotoisuus.pdf>.
- Räisänen, Helmi, Emma Hakala, Jussi Ahokas, Roope Kaaronen, Mikael A. Manninen, Tuuli Parviainen, Tero Toivanen, Tere Vadén & Jussi T. Eronen. 2025. "Supply Chain Imaginaries of the Green Transition: Resource Governance in the Finnish Battery Cluster." *Futures* 173: 103668. doi:10.1016/j.futures.2025.103668.

- Räisänen, Helmi, Emma Hakala, Jussi T. Eronen, Janne I. Hukkinen & Mikko J. Virtanen. 2021. "Comprehensive Security: The Opportunities and Challenges of Incorporating Environmental Threats in Security Policy." *Politics and Governance* 9 (4): 91–101. doi:10.17645/pag.v9i4.4389.
- Saarinén, Merja, Minna Kaljonen, Jyrki Niemi, Riina Antikainen, Kaija Hakala, Hanna Hartikainen, Jaakko Heikkinen, ym. 2019. *Ruokavaliomuutoksen vaikutukset ja muutosta tukevat politiikkayhdistelmät: RuokaMinimi-hankkeen loppuraportti*. Valtioneuvoston kanslia. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/11111/10608>.
- Saarinén, Saara & Antti Lehtinen. 2026. "Uudella Kuutio-menetelmällä etsitään ratkaisuja yhteiskunnallisiin ongelmiin tekoälyn avulla." *Sitra*. <https://www.sitra.fi/uutiset/uudella-kuutio-menetelmalla-etsitaan-ratkaisuja-yhteiskunnallisiin-ongelmiin-tekoalyn-avulla/>.
- Sajari, Petri. 2025. "Kotkaan rakennetaan 800 miljoonan euron akkumateriaalitehdas." *Helsingin Sanomat*, 20. maaliskuuta. <https://www.hs.fi/talous/art-200001110416.html>.
- Sallinen, Petri. 2024. "Minkälaisia joustoja Suomeen?" *Energia-uutiset*, 31. lokakuuta. <https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/markkinat/minkalaisia-joustoja-suomeen.html>.
- Salo, Piia & Anniina Ritvanen. 2025. "Kuusi vuosikymmentä laatuvaatimuksia lääkkeille." *Sic! Fimea*, 30. tammikuuta. <https://sic.fimea.fi/-/kuusi-vuosikymmenta-laatuvaatimuksia-laakkeille>.
- Sanderson, Henry. 2023. *Volt Rush: The Winners and Losers in the Race to Go Green*. OneWorld Publications. <https://www.simonandschuster.com/books/Volt-Rush/Henry-Sanderson/9780861546190>.
- Saul, Jonathan. 2021. "Ship Insurers Primed to Raise Rates after Red Sea Attacks." *Reuters*, January 13. <https://www.reuters.com/world/ship-insurers-primed-raise-rates-after-red-sea-attacks-2021-01-13/>.
- Saul, Jonathan & Mohammed Ghobari. 2024. "Red Sea Insurance Nearly Doubles after Attacked Oil Tanker Appears to Leak Oil." *Reuters*, 28. elokuuta. <https://www.reuters.com/world/middle-east/red-sea-insurance-nearly-doubles-after-attacked-oil-tanker-appears-leak-oil-2024-08-28/>.
- Savage, Susannah. 2025. "Middle East Tensions Could Trigger Food Price Shock, Warns Fertiliser Boss." *Financial Times*, 29. kesäkuuta. <https://www.ft.com/content/12fb3204-c69c-49c2-92fc-f7c9f5402668>.
- . 2026. "Fertiliser Disruption from Iran Conflict Prompts Global Food Shortage Warnings." *Financial Times*, 5. maaliskuuta. <https://www.ft.com/content/7efe2060-8112-47aa-ad33-628ed2eb80ed?syn-25a6b1a6=1>.
- Savage, Susannah & Malcolm Moore. 2025. "EU Fertiliser Companies Push for Steeper Tariffs on Russian Imports." *Financial Times*, 2. helmikuuta. <https://www.ft.com/content/4506b379-4590-44a0-b27b-82eccf72cae7>.
- Savage, Susannah, Jana Tauschinski, Andres Schipani & Eva Xiao. 2026. "The Global Food Crisis Unleashed by the War." *Financial Times*, 27. maaliskuuta. <https://www.ft.com/content/27e07c19-723a-4fce-adab-82538c350e74?syn-25a6b1a6=1>.
- Savidge, Tom, Mark Quigley & Tim T. Werner. 2025. "Climate Change Is Devastating Mining of Minerals Needed to Fight It." *Nature* 647 (8088): 36–39. doi:10.1038/d41586-025-03560-0.
- Schmidt, Christoph. 2022. "Russian Federation Sets New Tariff Quotas for Steel Scrap Exports." *EUWID*, 2. kesäkuuta. <https://www.euwid-recycling.com/news/policy/russian-federation-sets-new-tariff-quotas-for-steel-scrap-exports-150622/>.
- Scott, Mike. 2024. "ESG Watch: Why Climate Change Is Leaving Mining Firms between a Rock and a Hard Place." *Reuters*, 23. huhtikuuta. <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/esg-watch-why-climate-change-is-leaving-mining-firms-between-rock-hard-place-2024-04-23/>.
- Sebastian, Gregor & Camille Boullenois. 2024. "Terms and Conditions Apply: Regulating Chinese EV Manufacturing Investment in Europe." *Rhodium Group*, 1. lokakuuta. <https://rhg.com/research/terms-and-conditions-apply-regulating-chinese-ev-manufacturing-investment-in-europe/>.
- Semberg, Sanni & Petra Manninen. 2025. "Tietokortti: Maatalousmaiden typpioksiduulipäästöt." <https://jukuri.luke.fi/handle/11111/103499>.
- Shah, Saeed. 2022. "China Pursues Afghanistan's Mineral Wealth After U.S. Exit." *Wall Street Journal*, 13. maaliskuuta. <https://www.wsj.com/articles/china-pursues-afghanistans-mineral-wealth-after-u-s-exit-11647172801>.
- Shanghai Metals Market. 2025a. "China Suspends Lithium Battery and Material Export Controls for One Year." Shanghai Metals Market. <https://www.metal.com/en/newscontent/103596836>.
- . 2025b. "Global Copper Scrap Restructuring: From Policy to Resources Rebalancing." *Shanghai Metals Market*. <https://www.metal.com/en/newscontent/103583463>.
- Sharma, Ruchika. 2023. "Operations at Natco Pharma Chennai Factory Temporarily Disrupted Due to Cyclone." *Medical Dialogues*, 8. joulukuuta. <https://medicaldialogues.in/news/industry/pharma/operations-at-natco-pharma-chennai-factory-temporarily-disrupted-due-to-cyclone-121297>.
- Shaw, Vincent. 2025. "China Launches World's First Grid-Forming Sodium-Ion Battery Storage Plant." *Energy Storage*, 3. kesäkuuta. <https://www.ess-news.com/2025/06/03/china-launches-worlds-first-grid-forming-sodium-ion-battery-storage-plant/>.

- Shipping Telegraph. 2026. "Europe's Reliance on U.S. LNG to Surge 80% by 2028 as Middle East Energy Crisis Tightens Squeeze." *Shipping Telegraph*, 18. toukokuuta. <https://shippingtelegraph.com/lng-amp-amp-lpg-news/europes-reliance-on-u-s-lng-to-surge-80-by-2028-as-middle-east-energy-crisis-tightens-squeeze/>.
- Siddi, Marco. 2023. "Europe's Policies for a Green Transition: The European Commission's Geopolitical Turn and Its Pitfalls." Finnish Institute of International Affairs. FIIA Briefing Paper 362. https://fiia.fi/wp-content/uploads/2023/05/bp362_europes-policies-for-a-green-transition.pdf.
- Simon, Frédéric. 2023. "'Great News': EU Hails Discovery of Massive Phosphate Rock Deposit in Norway." *Euractiv*, 29. kesäkuuta. <https://www.euractiv.com/news/great-news-eu-hails-discovery-of-massive-phosphate-rock-deposit-in-norway/>.
- Singh, Avinash, Anand Kumar Keshri, Suraj Singh Rawat, Deepak Swami, Kala Venkata Uday & Amit Prasad. 2021. "Identification and Characterization of Colistin-Resistant E. Coli and K. Pneumoniae Isolated from Lower Himalayan Region of India." *SN Applied Sciences* 3 (6): 615. doi:10.1007/s42452-021-04596-3.
- Singh, Jitendra, Moetasim Ashfaq, Christopher B. Skinner, Weston B. Anderson, Vimal Mishra & Deepti Singh. 2022. "Enhanced Risk of Concurrent Regional Droughts with Increased ENSO Variability and Warming." *Nature Climate Change* 12 (2): 163–70. doi:10.1038/s41558-021-01276-3.
- Sinkkonen, Elina & Marco Siddi. 2024. "Foreign investments, de-risking and the EU's green transition: Mining critical minerals in Finland." Finnish Institute of International Affairs. FIIA Briefing Paper 384. <https://fiia.fi/julkaisu/foreign-investments-de-risking-and-the-eus-green-transition>.
- Sisäministeriö. 2023. "Kansallinen riskiarvio 2023." Sisäministeriö. Sisäministeriön julkaisuja 2023:4. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164627>.
- Sisodiya, Sanjay M., Medine I. Gulcebi, Francesco Fortunato, James D. Mills, Ethan Haynes, Elvira Bramon, Paul Chadwick, ym. 2024. "Climate Change and Disorders of the Nervous System." *The Lancet Neurology* 23 (6): 636–48. doi:10.1016/S1474-4422(24)00087-5.
- Skender, Belma & Mingyuan Zhang. 2024. "From Local Issue to Global Challenge: A Brief Overview of Antibiotic Shortages since the 1970s." *Humanities and Social Sciences Communications* 11 (1): 1–6. doi:10.1057/s41599-024-03759-y.
- SKGS. 2024. "The Swedish Industry's Demand for Electricity up to 2035." SKGS. <https://skgs.org/app/uploads/sites/2/2024/09/Swedish-Industries-Electricity-Demand-SKGS-2024.pdf>.
- Šklebar, Tin, Kristijan Dominik Rudež, Lorena Karla Rudež & Robert Likić. 2022. "Global Warming and Prescribing: A Review on Medicines' Effects and Precautions." *Psychiatria Danubina* 34 (Suppl 10): 5–12.
- Soneja, Sutyajeet, Chengsheng Jiang, Jared Fisher, Crystal Romeo Upperman, Clifford Mitchell & Amir Sapkota. 2016. "Exposure to Extreme Heat and Precipitation Events Associated with Increased Risk of Hospitalization for Asthma in Maryland, U.S.A." *Environmental Health* 15 (1): 57. doi:10.1186/s12940-016-0142-z.
- Song, Wanyuan. 2025. "China Briefing 2 October 2025: China's New Pledge; Electricity Demand Slows; Steel Overcapacity." *Carbon Brief*, 2. lokakuuta. <https://www.carbonbrief.org/china-briefing-2-october-2025-chinas-new-pledge-electricity-demand-slows-steel-overcapacity/>.
- Song, Wanyuan, Verner Viisainen & Anika Patel. 2024. "Q&A: The Global 'Trade War' over China's Booming EV Industry." *Carbon Brief*, 28. elokuuta. <https://www.carbonbrief.org/qa-the-global-trade-war-over-chinas-booming-ev-industry/>.
- Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö. 2021. "Valtioneuvosto antoi asetuksen henkilönsuojainten valinnasta ja käytöstä työssä." *Valtioneuvosto*, 20. toukokuuta. <https://valtioneuvosto.fi/-/1271139/valtioneuvosto-antoi-asetuksen-henkilönsuojainten-valinnasta-ja-kaytosta-tyossa->.
- Sousa, João P. M., Maria J. Ramos & Pedro A. Fernandes. 2022. "Modern Strategies for the Diversification of the Supply of Natural Compounds: The Case of Alkaloid Painkillers." *ChemBioChem* 23 (10): e202100623. doi:10.1002/cbic.202100623.
- Spears, Bryan M., Will J. Brownlie, Dana Cordell, Ludwig Hermann & José M. Mogollón. 2022. "Concerns about Global Phosphorus Demand for Lithium-Iron-Phosphate Batteries in the Light Electric Vehicle Sector." *Communications Materials* 3 (1): 14. doi:10.1038/s43246-022-00236-4.
- Spence, Eddie & Alfred Cang. 2025. "China-Backed \$3 Billion Indonesia Nickel Smelter Risks Shutdown." *MINING.COM*, 21. helmikuuta. <https://www.mining.com/web/china-backed-3-billion-indonesia-nickel-smelter-risks-shutdown/>.
- Statnett, Fingrid, Energinet & Svenska kraftnät. 2016. "Challenges and Opportunities for the Nordic Power System." <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/ytio/tki-toiminta/report-challenges-and-opportunities-for-the-nordic-power-system.pdf>.
- Steffen, Will, Katherine Richardson, Johan Rockström, Sarah E. Cornell, Ingo Fetzer, Elena M. Bennett, Reinette Biggs, ym. 2015. "Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet." *Science* 347 (6223): 1259855. doi:10.1126/science.1259855.

- Storbeck, Olaf. 2026. "Lengthy Iran War Could Cause Inflation 'Spike', Warns ecB's Top Economist." *Financial Times*, 3. maaliskuuta. <https://www.ft.com/content/529b22dc-2707-48f8-b19c-510dee176e30?syn-25a6b1a6=1>.
- Strateginen tutkimus. 2020. "SenoProt: Ratkaisuja kestävämpään proteiinijärjestelmään." *Suomen Akatemia*, 17. huhtikuuta. <https://www.aka.fi/strateginen-tutkimus/strateginen-tutkimus/tutkimusta-tiedon-kayttajalle/ajankohtaista/uutiset-ja-tiedotteet-2020/suomi---kokoaan-suurempi-kiertotalous/scenoprot-ratkaisuja-kestavampaan-proteiinijarjestelmaan/>.
- Suikkanen, Johanna, Topi Turunen & Suomen ympäristökeskus. 2023. *Kriittisten raaka-aineiden kiertotalous EU:n politiikkatavoitteena*. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/562528>.
- Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. 2025. "Biokaasu ja maatilat." *Suomen Biokierto ja Biokaasu ry*. <https://biokierto.fi/biokaasu/biokaasu-ja-maatilat/>.
- Suomen ympäristökeskus [Syke]. 2022. "Rehevoittävä kuormitus." *Vesi.fi*, 1. kesäkuuta. <https://www.vesi.fi/vesitieto/rehevoittava-kuormitus/>.
- . 2025c. "Pitkäaikaisseurannat kertovat selvistä muutoksista Itämeren ekosysteemeissä." <https://www.stinfo.fi/tiedote/71394698/pitkaaikaissuurannat-kertovat-selvista-muutoksista-itameren-ekosysteemis-sa?publisherId=69819243&lang=fi>.
- . 2025b. "Sisävesien ekologinen tila enimmäkseen hyvä." Suomen ympäristökeskus. <https://www.ymparisto.fi/fi/ympariston-tila/vesi/sisavesien-ekologinen-tila>.
- . 2025a. "Suuri ravinnekuormitus ruokkii rehevöitymistä." Suomen ympäristökeskus. <https://www.ymparisto.fi/fi/ympariston-tila/vesi/rehevoittava-kuormitus>.
- Surma, Katie. 2023. "Mining Critical to Renewable Energy Tied to Hundreds of Alleged Human Rights Abuses." *Inside Climate News*, 7. kesäkuuta. <https://insideclimatenews.org/news/07062023/mining-clean-energy-human-rights/>.
- Surma, Katie, Georgina Gustin & Nicholas Kusnetz. 2025. "For the First Time, China Invests More in Wind and Solar Than Coal Overseas." *Inside Climate News*, 26. toukokuuta. <https://insideclimatenews.org/news/26052025/china-belt-and-road-initiative-wind-solar-investments/>.
- Surucu-Balci, Ebru & Gokcay Balci. 2026. "Strait of Hormuz: Gulf States' Food Security Is at Immediate Risk but Wider Shortages Could Push up Consumer Prices Globally." *The Conversation*, 4. maaliskuuta. doi:10.64628/AB.dymtsij67.
- Svenska kraftnät. 2024c. "Balancing Market Outlook 2030." Svenska kraftnät. <https://www.svk.se/48d672/siteassets/om-oss/rapporter/2024/svenska-kraftnat-balancing-market-outlook-2030.pdf>.
- . 2024a. "Fortsatt risk för effektkris de kommande åren." *Svenska kraftnät*. <https://www.svk.se/press-och-nyheter/nyheter/allmanna-nyheter/2024/fortsatt-risk-for-effektkris-de-kommande-aren/>.
- . 2024b. "Långsiktig Marknadsanalys: Scenarier För Kraftsystemets Utveckling Fram till 2050." Svenska kraftnät. https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2024/lma_2024.pdf.
- Svenska kraftnät, Energinet, Fingrid & Statnet. 2023. "Nordic Grid Development Perspective 2023." <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/ngpd2023-1.pdf>.
- Swanson, Ana. 2024. "Biden Targets China's Chip Industry With Wider Trade Bans." *The New York Times*, 2. joulukuuta. <https://www.nytimes.com/2024/12/02/business/economy/biden-china-chips-exports.html>.
- Sytas, Andrius. 2025. "US Eases Sanctions on Three Belarus Potash Companies after Prisoner Release." *Yahoo Finance*, 15. joulukuuta. <https://uk.finance.yahoo.com/news/us-eases-sanctions-three-belarus-153422129.html>.
- Tagliapietra, Simone, Cecilia Trasi & Gregor Sebastian. 2025. "A Smart European Strategy for Electric Vehicle Investment from China." Bruegel. Policy Brief 21/2025. <https://www.bruegel.org/sites/default/files/2025-07/pb%2021%202025.pdf>.
- Talvitie, Marjukka. 2026. "Tämä on maailman pohjoisin biokaasulaitos" – ministeri Essayah hehkutti Ranuan maatilojen yhteishanketta." *Yle Uutiset*, 18. helmikuuta. <https://yle.fi/a/74-20210915>.
- Tampio, Elina, Sari Luostarinen, Petri Kapuinen, Sanna Kykkänen, Ville Pyykkönen, Kimmo Rasa, Ari-Matti Seppänen, Maarit Termonen, Erika Winqvist & Kirsi Järvenranta. 2022. "Maatalouden, yhdyskuntien ja elintarviketeollisuuden biomassojen kierrätyspotentiaali, prosessointi lannoitevalmisteiksi, logistiikka ja käyttö maataloudessa." Teoksessa *Maatalouden Typpihaaste – Vaihtoehtoja ja ratkaisuja*, toim. Eeva Vainio, 46–58. Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus.
- Tampio, Elina, Krista Peltoniemi, Elena Valkama, Helena Soinne, Ansa Palojärvi, Taina Pennanen, Jaana Uusi-Kämpä & Sari Luostarinen. 2026. "Maanparannusaineiden tuotanto ja käyttö." Teoksessa *Synteesiraportti: Tavoitteena maan kasvukunnon parantaminen: Uudet tiedot ja menetelmät maatalouden ympäristövaikutusten hallintaan*, toim. Johanna Leppälä, Elina Nurmi & Mika Tähtikarhu, 16–23. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 4/206. Luonnonvarakeskus.
- Tan, Jia Ning & Wanyuan Song. 2024. "Q&A: How China Is Adapting to Increasingly Frequent Flooding." *Carbon Brief*, 28. kesäkuuta. <https://www.carbonbrief.org/qa-how-china-is-adapting-to-increasingly-frequent-flooding/>.
- Tang, Didi. 2024. "Five Years since Its Inception, a US Development Agency Competes with China on Global Projects." *AP News*, 9. joulukuuta. <https://apnews.com/article/china-infrastructure-development-africa-1081bdd90769214437cebacdddee5e6c2>.

- T&E. 2023. "Two-Thirds of European Battery Production at Risk – Analysis." *Transport & Environment*, 6. maaliskuuta. <https://www.transportenvironment.org/articles/two-thirds-of-european-battery-production-at-risk-analysis>.
- . 2025. "EU Rules out Production Aid in Blow to Battery and Cleantech Industry." *T&E*, 16. heinäkuuta. <https://www.transportenvironment.org/articles/eu-rules-out-production-aid-in-blow-to-battery-and-cleantech-industry>.
- Temple, James. 2024. "What China's Critical Mineral Ban Means for the us." *MIT Technology Review*, 6. joulukuuta. <https://www.technologyreview.com/2024/12/06/1108020/what-chinas-critical-mineral-ban-means-for-the-us/>.
- Tenggren, Sandra, Olle Olsson, Gregor Vulturius, Henrik Carlsen & Magnus Benzie. 2019. "Climate Risk in a Globalized World: Empirical Findings from Supply Chains in the Swedish Manufacturing Sector." *Journal of Environmental Planning and Management* 63 (7): 1266–82. doi:10.1080/09640568.2019.1660626.
- Tesfaye, Amensisa Hailu, Jason Prior & Erica McIntyre. 2025. "Impact of Climate Change on Health Workers: A Scoping Review." *Journal of Public Health*. doi:10.1007/s10389-025-02418-z.
- The Economist. 2024. "Why Is Xi Jinping Building Secret Commodity Stockpiles?" *The Economist*, 23. heinäkuuta. <https://www.economist.com/finance-and-economics/2024/07/23/why-is-xi-jinping-building-secret-commodity-stockpiles>.
- The Telegraph. 2023. "Himachal Pradesh Rains: Over 50 Stranded People Rescued, Bridge Connecting Baddi-Pinjaur Washed Away." 25. elokuuta. <https://www.telegraphindia.com/india/himachal-pradesh-rains-over-50-stranded-people-rescued-bridge-connecting-baddi-pinjaur-washed-away/cid/1961473>.
- The Times of India. 2023. "Rain News: Fermenta Biotech Suspends Operations at Kullu Plant." *The Times of India*, 12. heinäkuuta. <https://timesofindia.indiatimes.com/city/delhi/rains-news-live-updates-monsoon-imd-alert-rain-fall-schools-closed-floods-landslides-trains-cancelled-in-india-today/liveblog/101622770.cms>.
- Tian, Hanqin, Rongting Xu, Josep G. Canadell, Rona L. Thompson, Wilfried Winiwarter, Parvatha Suntharalingam, Eric A. Davidson, ym. 2020. "A Comprehensive Quantification of Global Nitrous Oxide Sources and Sinks." *Nature* 586 (7828): 248–56. doi:10.1038/s41586-020-2780-0.
- Timonen, Karetta, Satu Ervasti, Tapio Salo, Juha-Matti Katajajuuri & Saija Rasi. 2020. *Kierrätyslannoitevalmisteiden ilmastopäästöt: tapaus Demotehdas*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 34/2020. Luonnonvarakeskus. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-969-9>.
- Titievskaia, Jana. 2021. "Us-China Geoeconomic Rivalry Intensifies: A Risk or an Opportunity for European Companies?" Finnish Institute of International Affairs. FIIA Briefing Paper 323/2021. <https://fiia.fi/en/publication/us-china-geoeconomic-rivalry-intensifies>.
- Todts, William. 2024. "Make, Buy, Protect Europe." *T&E*, 20. joulukuuta. <https://www.transportenvironment.org/articles/make-buy-protect-europe>.
- Toivonen, Terhi. 2024. "Tuontikielto olisi katastrofaalinen" – Ministeri Rydman perustelee, miksi nikkeli- ja lannoitekauppa Venäjältä jatkuu." *Yle Uutiset*, 21. maaliskuuta. <https://yle.fi/a/74-20080267>.
- Tolvanen, Anne, Pasi Eilu, Artti Juutinen, Katja Kangas, Mari Kivinen, Mira Markovaara-Koivisto, Arto Naskali, Veera Salokannel, Seija Tuulentie & Jukka Similä. 2019. "Mining in the Arctic Environment – A Review from Ecological, Socioeconomic and Legal Perspectives." *Journal of Environmental Management* 233: 832–44. doi:10.1016/j.jenvman.2018.11.124.
- Toma, Alexandra & Ofelia Crişan. 2018. "Green Pharmacy – A Narrative Review." *Medicine and Pharmacy Reports* 91 (4): 391–98. doi:10.15386/cjmed-1129.
- Tooze, Adam. 2025. "Chartbook 414: Slouching towards (Red-Green) Utopia. Voicing the Muted Politics of China's Renewable Energy Revolution." Substack newsletter. *Chartbook*, 2. marraskuuta. <https://adamtooze.substack.com/p/chartbook-414-slouching-towards-red>.
- Torres-Miralles, M., K. Särkelä, K. Koppelmäki, M. Lamminen, H. L. Tuomisto & I. Herzon. 2022. "Contribution of High Nature Value Farming Systems to Sustainable Livestock Production: A Case from Finland." *Science of The Total Environment* 839: 156267. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.156267.
- Toto, Elodie. 2025. "Mineral Exploitation Overshadows Green Diplomacy in Congo's Sangha Region." *Mongabay Environmental News*, 30. tammikuuta. <https://news.mongabay.com/2025/01/mineral-exploitation-overshadows-green-diplomacy-in-congos-sangha-region/>.
- Trump, Donald J. 2025. "Delivering Most-Favored-Nation Prescription Drug Pricing to American Patients." *The White House*, 12. toukokuuta. <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/05/delivering-most-favored-nation-prescription-drug-pricing-to-american-patients/>.
- Tucker, Sydney. 2025. "Competing for Africa's Resources: How the us and China Invest in Critical Minerals." *Stimson Center*, 28. helmikuuta. <https://www.stimson.org/2025/competing-for-africas-resources-how-the-us-and-china-invest-in-critical-minerals/>.
- Tulli. 2022. "Kiintiöt erälle lannoitteille Venäjältä (päivitetty 11.7.)." *Tulli*, 8. heinäkuuta. <https://tulli.fi/-/kiintiot-eraille-lannoitteille-venajalta>.
- . 2026. "Hiilirajamekanismi." *Tulli*, 23. huhtikuuta. <https://tulli.fi/hiilirajamekanismi>.

- Turvallisuuskomitea. 2025. ”Yhteiskunnan turvallisuusstrategia: Valtioneuvoston periaatepäätös.” Valtioneuvosto. Valtioneuvoston julkaisuja 2025:1. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/166024>.
- Työ- ja elinkeinoministeriö [TEM]. 2013. ”Suomi Kestävän Kaivannaisteollisuuden Edelläkävijäksi – Toimintaohjelma.” Työ- ja elinkeinoministeriö. [https://tem.fi/documents/1410877/2851374/Suomi_kestavan_kaivannaisteollisuuden_edellakavijaksi_-_toimintaohjelma.pdf](https://tem.fi/documents/1410877/2851374/Suomi_kestavan_kaivannaisteollisuuden_edellakavijaksi_-_toimintaohjelma.pdf/3bcf1791-f551-444d-b8ea-ab8832829c0d/Suomi_kestavan_kaivannaisteollisuuden_edellakavijaksi_-_toimintaohjelma.pdf).
- . 2021. ”Kansallinen akkustrategia 2025.” Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2021:2. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162684>.
- . 2022. ”Valtioneuvoston huoltovarmuusselonteko.” Valtioneuvosto. Valtioneuvoston julkaisuja 2022:59. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164329>.
- . 2023. ”Suomi osallistuu kestävää kansainvälistä mineraaliturvallisuutta koskevaan kumppanuuteen.” Työ- ja elinkeinoministeriö, 21. kesäkuuta. <https://tem.fi/-/suomi-osallistuu-kestavaa-kansainvalista-mineraaliturvallisuutta-koskevaan-kumppanuuteen>.
- . 2025. ”Neuvosto ja Euroopan parlamentti sopuun Venäjän kaasun tuontikiellosta.” Työ- ja elinkeinoministeriö, 3. joulukuuta. <https://tem.fi/-/neuvosto-ja-euroopan-parlamentti-sopuun-venajan-kaasun-tuontikiellosta>.
- . 2024c. ”EU:n kriittisten raaka-aineiden asetus astuu voimaan 23. toukokuuta.” Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://tem.fi/-/eu-n-kriittisten-raaka-aineiden-asetus-astuu-voimaan-23-toukokuuta>.
- . 2024a. ”Kansallinen mineraalistrategia.” Valtioneuvosto. Valtioneuvoston julkaisuja 2024:65. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165994>.
- . 2024b. ”Uusi EU:n ekosunnitteluasetus tuo keinoja puuttua entistä useampien tuotteiden elinkaaren aikaiseen ympäristökuormitukseen.” Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://tem.fi/-/uusi-eu-n-ekosuunnitteluasetus-tuo-keinoja-puuttua-entista-useampien-tuotteiden-elinkaaren-aikaiseen-ymparistokuormitukseen>.
- Työterveyslaitos. n.d. ”Henkilönsuojaimiin liittyvä lainsäädäntö.” Työterveyslaitos. <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvaluus/henkilonsuojaimet/henkilonsuojaimiin-liittyva-lainsaadanto>.
- Työturvallisuuslaki 738/2002. Annettu 23. elokuuta 2002 Helsingissä. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2002/738>.
- Törnudd, Nina. 2025. ”Kiinalaisyhtiö vetäytyy Haminaan kaavaillusta akkumateriaalitehtaasta.” *Helsingin Sanomat*, 4. huhtikuuta. <https://www.hs.fi/talous/art-200001147188.html>.
- Ulkoministeriö. 2025. ”16. pakotepakettissa EU kieltää alumiinin tuonnin Venäjältä ja puuttuu varjolaivastoon.” *Ulkoministeriö*. 24. helmikuuta. https://um.fi/ajankohtaista/-/asset_publisher/gc654PySnjtx/content/16-pakotepakettissa-eu-kieltaa-alumiinin-tuonnin-venajalta-ja-puuttuu-varjolaivastoon.
- Ulrich, Andrea E. & Emmanuel Frossard. 2014. ”On the History of a Reoccurring Concept: Phosphorus Scarcity.” *Science of The Total Environment* 490: 694–707. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.04.050.
- UN Trade and Development [UNCTAD]. 2026. ”Strait of Hormuz Disruptions: Implications for Global Trade and Development.” UN Trade and Development (UNCTAD). https://unctad.org/system/files/official-document/osgtinf2026d1_en.pdf.
- UNICEF Egypt. 2021. ”Water Scarcity in Egypt.” <https://www.unicef.org/egypt/documents/water-scarcity-egypt>.
- United Nations. 2024. ”Finland Must Respect the Rights of Sámi Indigenous People to Traditional Lands: UN Committees Find.” *OHCHR*. <https://www.ohchr.org/en/press-releases/2024/10/finland-must-respect-rights-sami-indigenous-people-traditional-lands-un>.
- United Nations Environment Programme Finance Initiative [UNEP]. 2024. ”Climate Risks in the Metals and Mining Sector.” United Nations Environment Programme. Sectoral Risk Briefings: Insights for Financial Institutions. <https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2024/05/Climate-Risks-in-the-Metals-and-Mining-Sector-1.pdf>.
- United Nations Environment Programme [UNEP]. 2025a. *Global Environment Outlook 7: A Future We Choose – Why Investing in Earth Now Can Lead to a Trillion-Dollar Benefit for All*. doi:10.59117/20.500.11822/49014.
- . 2025b. ”The Global Partnership on Nutrient Management.” United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/topics/ocean-seas-and-coasts/ecosystem-degradation-pollution/nutrient-management/gpnm>.
- United States Department of Justice. 2022. ”Glencore Entered Guilty Pleas to Foreign Bribery and Market Manipulation Schemes.” *United States Department of Justice*, 24. toukokuuta. <https://www.justice.gov/archives/opa/pr/glencore-entered-guilty-pleas-foreign-bribery-and-market-manipulation-schemes>.
- United States Department of State. 2024. ”Minerals Security Partnership.” *United States Department of State*. <https://www.state.gov/minerals-security-partnership/>.
- University of Notre Dame. 2025. ”Rankings.” *Notre Dame Global Adaptation Initiative*. <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/rankings/>.
- U.S. Geological Survey. 2025. *Mineral Commodity Summaries 2025*. U.S. Geological Survey. doi:10.3133/mcs2025.
- Vadlamani, Harsha. 2025. ”The Downstream Effects of India’s Green Revolution.” *Undark Magazine*, 3. helmikuuta. <https://undark.org/2025/02/03/downstream-india-green-revolution/>.

- Vainio, Eeva. n.d. "Maatalouden typpitaloutta tehostetaan ja lannoitepulaa selätetään monipuolisilla menetelmillä." *Luonnonvarakeskus*. Luonnonvarakeskus (Luke). <https://www.luke.fi/fi/maatalouden-typpitaloutta-tehostetaan-ja-lannoitepulaa-selätetään-monipuolisilla-menetelmilla>.
- Vakkilainen, Esa & Aija Kivistö. 2017. *Sähkön tuotantokustannusvertailu*. Report. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/143861>.
- Valkama, Elena, Riitta Lemola & Tapio Salo. 2026. "Lannoitus ja ravinteiden kierrätys." Teoksessa *Synteesiraportti: Tavoitteena maan kasvukunnon parantaminen: Uudet tiedot ja menetelmät maatalouden ympäristövaikutusten hallintaan*, toim. Johanne Leppälä, Elina Nurmi & Mika Tähtikarhu, 24–28. Luonnonvara- ja Biotalous Tutkimus 4/206. Luonnonvarakeskus.
- Valkama, Heikki. 2025. "Eurooppa iski Yhdysvalloille listan vastatulleista – asiantuntija: Vaarana on kauppasodan roihahhtaminen." *Yle Uutiset*, 8. toukokuuta. <https://yle.fi/a/74-20160660>.
- Valtioneuvosto. 2023. "Komissio linjasi muutoksista EU:n valtiontukipolitiikan suuntaan ja tavoitteisiin." *Valtioneuvosto*. 10. maaliskuuta. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/komissio-linjasi-muutoksista-eu-n-valtiontukipolitiikan-suuntaan-ja-tavoitteisiin>.
- Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta 1250/2014. Annettu 18. joulukuuta 2014 Helsingissä. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2014/1250>.
- Valtioneuvoston asetus fosforia sisältävien lannoitevalmisteiden ja lannan käytöstä 64/2023. Annettu 12. tammikuuta 2023 Helsingissä. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2025/357>.
- Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista 568/2024. Annettu 24. lokakuuta 2024 Helsingissä. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2024/568>.
- Valtiontalouden tarkastusvirasto. 2024. "Akkuarvoketjun edistäminen." Valtiontalouden tarkastusvirasto. Valtiontalouden tarkastusviraston tarkastuskertomukset 4/2024. <https://www.vtv.fi/app/uploads/2024/05/vtv-Tarkastus-4-2024-Akkuarvoketjun-edistaminen.pdf>.
- Van de Graaf, Thijs & Elisa Díaz Gras. 2025. "The EU's Energy and Climate Partnerships: From Agreements to Action." *Brussels Institute for Geopolitics*, 7. helmikuuta. <https://big-europe.eu/publications/2025-02-07-the-eu-s-energy-and-climate-partnerships-from-agreements-to-action>.
- Vandome, Christopher. 2024. "How Can African States Benefit from the EU Critical Raw Material Act and the UK Critical Minerals Strategy?" *Africa Policy Research Institute APRI*, 11. syyskuuta. <https://afripoli.org/how-can-african-states-benefit-from-the-eu-critical-raw-material-act-and-the-uk-critical-minerals-strategy>.
- Varley, Kevin. 2022. "Taiwan Tensions Raise Risks in One of Busiest Shipping Lanes." *Bloomberg.Com*, 2. elokuuta. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-08-02/taiwan-tensions-raise-risks-in-one-of-busiest-shipping-lanes>.
- Vasara, Heino, Jussi Pokki, Bo Långbacka & Mari Kivinen. 2023a. "Kaivosalan toimialaraportti." Toim. Heino Vasara. Työ- ja elinkeinoministeriö. TEM toimialaraportit 2023:4. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165277>.
- Veleva, Vesela R., Berkeley W. Cue Jr., Svetlana Todorova, Harshrajsinh Thakor, Nitesh H. Mehta & Krishna B. Padia. 2018. "Benchmarking Green Chemistry Adoption by the Indian Pharmaceutical Supply Chain." *Green Chemistry Letters and Reviews* 11 (4): 439–56. doi :10.1080/17518253.2018.1530802.
- Verschuur, Jasper, Elco E. Koks, Sihan Li & Jim W. Hall. 2023. "Multi-Hazard Risk to Global Port Infrastructure and Resulting Trade and Logistics Losses." *Communications Earth & Environment* 4 (1): 5. doi:10.1038/s43247-022-00656-7.
- Vesa, Jarkko. 2017. "Kriittiset metallit ja huoltovarmuus. Selvitys kriittisten metallien käytöstä ja kierrätyksestä suomalaisessa ja suomessa toimivassa teollisuudessa." Huoltovarmuusorganisaatio. https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/9c17117d00f3a901502f02e238d56dbd3600ca75/www2.kriittiset_metallithvk_2017.pdf.
- Viglione, Giuliana. 2022. "Q&A: What Does the World's Reliance on Fertilisers Mean for Climate Change?" *Carbon Brief*. 11. heinäkuuta. <https://www.carbonbrief.org/qa-what-does-the-worlds-reliance-on-fertilisers-mean-for-climate-change/>.
- Virranniemi, Greta. 2021. "Mitä tapahtuisi, jos me kaikki alkaisimme vegaaneiksi? Nämä 8 asiaa muuttuisivat Suomessa." *Yle Uutiset*, 30. tammikuuta. <https://yle.fi/a/3-11755888>.
- Visontay, Elias. 2024. "Carmakers May Be Using Aluminium Made by Uyghur Forced Labour, NGO Investigation Finds." *The Guardian*, 1. helmikuuta. <https://www.theguardian.com/law/2024/feb/01/car-manufacturers-toyota-volkswagen-tesla-general-motors-byd-alleged-forced-labour-aluminium-uyghur>.
- Vladimirov, Martin. 2025. "Kremlin's Fertilizer Cash Stream Is Blind Spot in EU Sanctions: Vladimirov." *Reuters*, 14. maaliskuuta. <https://www.reuters.com/markets/commodities/kremlins-fertilizer-cash-stream-is-blind-spot-eu-sanctions-vladimirov-2025-03-14/>.

- Vladimirov, Martin & Daria Osipova. 2024. "Global Reach: The Kremlin Playbook in Latin America." Center for the Study of Democracy. <https://csd.eu/publications/publication/global-reach/>.
- Volta Foundation. 2024. "2024 Annual Battery Report." *Volta Foundation*. <https://volta.foundation/battery-report-2024>.
- Vries, Wim de, Lena Schulte-Uebbing, Hans Kros, Jan Cees Voogd & Geertrui Louwagie. 2021. "Spatially Explicit Boundaries for Agricultural Nitrogen Inputs in the European Union to Meet Air and Water Quality Targets." *Science of The Total Environment* 786: 147283. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147283.
- Väre, Jenna. 2022. "Velvoitevarastointi Ja Poikkeustilat - Toimet Lääkkeiden Saatavuuden Varmistamiseksi Suomessa." *Farmasian Tiedekunta*. Teollisuusfarmasia. Helsingin yliopisto. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/8c756a67-d358-41ed-9fed-42d863c72582/content>.
- Wall, Kristin & Sarah Pennington. 2026. "Walking a Tightrope: Navigating us Most-Favored-Nation Prescription Drug Pricing in Canada." <https://www.Nortonrosefulbright.com/En-ca/Knowledge/Publications/64f59794/Walking-a-Tightrope-Navigating-Us-Most-Favored-Nation>. Norton Rose Fulbright. <https://www.nortonrosefulbright.com/en-ca/knowledge/publications/64f59794/walking-a-tightrope-navigating-us-most-favored-nation>.
- Wandhe, Dr Priyanka. 2024. "An Overview on Production Linked Incentive (PLI) Scheme by The Government of India." SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY: Social Science Research Network. doi:10.2139/ssrn.4693578.
- Wang, Jun, Yang Chen, Simon F. B. Tett, Dáithí Stone, Ji Nie, Jinming Feng, Zhongwei Yan, Panmao Zhai & Quansheng Ge. 2023. "Storyline Attribution of Human Influence on a Record-Breaking Spatially Compounding Flood-Heat Event." *Science Advances* 9 (48): eadi2714. doi:10.1126/sciadv.adi2714.
- Wang, Kun, Tao Zhuang, Zhaoxin Su, Menghao Chi & Haichao Wang. 2021. "Antibiotic Residues in Wastewaters from Sewage Treatment Plants and Pharmaceutical Industries: Occurrence, Removal and Environmental Impacts." *Science of The Total Environment* 788: 147811. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147811.
- Welling, Ari. 2025. "Uudenkaupungin lannoitetehtaan Venäjä-yhteys pysyy, vaikka ammoniakkin tuonti vähenee – kysymme miksi." *Yle Uutiset*, 12. syyskuuta. <https://yle.fi/a/74-20181371>.
- West, C., R. Ebrey, J. Simpson, E. Stokeld, F. Lager, S. Croft, F. Bosello, ym. 2022. "Report on Preliminary Impact and Policy Insights from Model and Sectoral Case Study Analysis of WP3." Deliverable 3.6 of the H2020 CASCADES project.
- Wettstein, Zachary S. & Ambarish Vaidyanathan. 2024. "Psychotropic Medication Prescriptions and Large California Wildfires." *JAMA Network Open* 7 (2): e2356466. doi:10.1001/jamanetworkopen.2023.56466.
- Wexler, Alexandra & Julie Steinberg. 2024. "How the U.S. Is Trying to Challenge China's Cobalt Chokehold." *Wall Street Journal*, 15. lokakuuta. <https://www.wsj.com/world/africa/americans-companies-cobalt-mine-congo-china-ff5a1560>.
- White House. 2020. "Executive Order on Ensuring Essential Medicines, Medical Countermeasures, and Critical Inputs Are Made in the United States." *White House*, 6. elokuuta. <https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/executive-order-ensuring-essential-medicines-medical-countermeasures-critical-inputs-made-united-states/>.
- Wigell, Mikael, Mariette Hägglund, Christian Fjäder, Emma Hakala, Johanna Ketola & Harri Mikkola. 2022. "Nordic Resilience: Strengthening Cooperation on Security of Supply and Crisis Preparedness." *FIIA report 70/2022*. Finnish Institute of International Affairs. <https://fiia.fi/en/publication/nordic-resilience>.
- Witte, Karina & Michael Müller. 2025. "Sustainable Pharmacy—a Guiding Principle." *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 44: 101897. doi:10.1016/j.scp.2024.101897.
- World Integrated Trade Solution [WITS]. 2023. "European Union Anhydrous Ammonia Imports by Country in 2023." *WITS World Integrated Trade Solution*. <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/EUN/year/2023/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/281410>.
- . 2024. "European Union Anhydrous Ammonia Imports by Country in 2024." *WITS World Integrated Trade Solution*. <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/EUN/year/2024/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/281410>.
- World Trade Organization [WTO]. 2026. "The WTO's Pharma Agreement." https://www.wto.org/english/tratop_e/pharma_ag_e/pharma_agreement_e.htm.
- Wu, Jingwei, Ziming Han, Xiaomin Ma, Ming Su, Amir Hossein Hamidian, Yu Zhang & Min Yang. 2025. "A Database on Antibiotics and Antibiotic Resistance in Wastewater and Solid Waste from Pharmaceutical Industry Based on a Systematic Review." *China CDC Weekly* 7 (3): 92–100. doi:10.46234/ccdcw2025.015.
- WWF. 2024. "WWF Water Risk Filter Indicator & Scenario Documentation Version 2.0." <https://doi.org/10.5281/zenodo.13693590>.
- . 2025. "Water Risk Filter." *WWF Risk Filter Suite*. <https://riskfilter.org/water/home>.
- Yan, Zhijian & Yuxuan Jia. 2023. "Transcript: Adam Tooze at ccg." Center for China and Globalisation, 9. lokakuuta. <https://www.ccgupdate.org/p/transcript-adam-tooze-at-ccg>.
- Yang, Yueyi. 2022. "China Heatwave, Drought Hurts Industrial Production, Chemicals." *ICIS Chemical Business*, 19. elokuuta. https://www.icis.com/subscriber/icb/2022/08/19/10797238/china-heatwave-drought-hurts-industrial-production-chemicals/#_=_.

- Yang, Zaili, Adolf K. Y. Ng, Paul Tae-Woo. Lee, Tianni Wang, Zhuohua. Qu, Vasco Sanchez Rodrigues, Stephen Pettit, Irina Harris, Di Zhang & Yui-yip Lau. 2018. "Risk and Cost Evaluation of Port Adaptation Measures to Climate Change Impacts." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 61: 444–58. doi:10.1016/j.trd.2017.03.004.
- Yara. n.d. "Yara Siilinjärvi." *Yara Suomi*. <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/Yara-Suomi/toimipaikat/siilinjarvi/tuotantolaitos/>.
- Yazici, Levent. 2022. "Influence of Different Sowing Times on Yield and Biochemical Characteristics of Different Opium Poppy (*Papaver Somniferum* L.) Genotypes." *Journal of King Saud University - Science* 34 (8): 102337. doi:10.1016/j.jksus.2022.102337.
- Yenew, Chalachew, Gashaw Melkie Bayeh, Asaye Alamneh Gebeyehu, Anley Shiferaw Enawgaw, Zufan Alamrie Asmare, Amare Genetu Ejigu, Tilahun Degu Tsega, ym. 2025. "Scoping Review on Assessing Climate-Sensitive Health Risks." *BMC Public Health* 25 (1): 914. doi:10.1186/s12889-025-22148-x.
- Ylhäinen, Annaleena. 2023. "Lannoitteiden hinnat normalisoitumassa." *Käytännön Maamies*, 23. helmikuuta. <https://kaytannonmaamies.fi/lannoitteiden-hinnat-normalisoitumassa/>.
- Ympäristöministeriö [ym]. 2023. "EU:n akkuasetus astuu tänään voimaan – pitkällä aikavälillä isoja muutoksia akkualalle." *Valtioneuvosto*, 17. elokuuta. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/eu-n-akkuasetus-astuu-tanaan-voimaan-pitkalla-aikavallilla-isoja-muutoksia-akkualalle>.
- . 2025. "Työ yhdyskuntajätevesidirektiivin toimeenpanoksi alkaa – jätevesien käsittely tehostuu." *Valtioneuvosto*, 7. huhtikuuta. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/tyo-yhdyskuntajatevesidirektiivin-toimeenpanoksi-alkaa-jatevesien-kasittely-tehostuu>.
- . n.d. "Kansainvälinen yhteistyö vesien- ja merensuojelussa." *Ympäristöministeriö*. <https://ym.fi/kansainvalinen-yhteisty-oesien-ja-merensuojelussa>.
- Your Europe. 2026. "CE-merkintä." *Your Europe*. https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_fi.htm.
- Zhao, Alicia, Ryna Cui, Carla Campos Morales, Jiaxun Sun, Wei Peng, Claire Squire, Kiara Ordóñez Olazabal, ym. 2025. "U.S. Clean Energy Policy Rollbacks: The Economic and Public Health Impacts Across States." Center for Global Sustainability, University of Maryland. https://cgs.umd.edu/sites/default/files/2025-06/file_cgs_us%20Clean%20Energy%20Policy%20Rollbacks_report.pdf.
- Zhijian, Xia. 2022. "China: Adapting to Extreme Weather." *PreventionWeb*, 21. lokakuuta. <https://www.preventionweb.net/news/adapting-china-extreme-weather>.
- Zhou, Xiaochi, Fletcher H. Passow, Joseph Rudek, Joseph C. von Fisher, Steven P. Hamburg & John D. Albertson. 2019. "Estimation of Methane Emissions from the U.S. Ammonia Fertilizer Industry Using a Mobile Sensing Approach." *Toim. Detlev Helmig. Elementa: Science of the Anthropocene* 7: 19. doi:10.1525/elementa.358.
- Zhu, Ying, Anna Eskola & Essi Rännäli. 2022. "Kriittiset Materiaalit Teknoliateollisuudessa." Ramboll Finland; Teknoliateollisuus. https://teknoliateollisuus.fi/wp-content/uploads/2024/08/Kriittiset-materiaalit_Teknoliateollisuuden-opas.pdf.
- Zimmermann, Antonia. 2024. "'Blood Minerals': EU Accused of Fueling Conflict with Rwanda Deal." *POLITICO*, 25. heinäkuuta. <https://www.politico.eu/article/eu-rwanda-minerals-agreement-coltan-ore-mining-conflict-smuggling-rubaya-democratic-republic-of-the-congo-paul-kagame/>.

Sarjan aiemmat julkaisut

Iro Särkkä, Minna Ålander, Joel Linnainmäki & Antti Pihlajamaa

Finland's partnerships as a NATO member: Prospects for defence cooperation in a multilateral framework, FIIA Report 76 (2024)

Markus Holmgren

Murrokselliset teknologiat: Teknologisen kehityksen dynamiikka ja kansallinen varautuminen, FIIA Report 75 (2024)

Mikael Mattlin, Shaun Breslin, Elina Sinkkonen, Liisa Kauppila, Björn Cappelin, Ines Söderström & Matt Ferchen

Enhancing small state preparedness: Risks of foreign ownership, supply disruptions and technological dependencies, FIIA Report 74 (2023)

Emma Hakala, Katariina Mustasilta & Mohammed Hadi

Water diplomacy analysis for Central Asia: Dynamics of insecurity and sources of resilience, FIIA Report 73 (2023)

Katariina Mustasilta, Tyyne Karjalainen, Timo R. Stewart & Mathilda Salo

Suomi Afganistanissa 2001–2021: Vakauttamisesta ulko- ja turvallisuuspoliittisten suhteiden vaalimiseen, FIIA Report 72 (2022)

Mikael Wigell, Heiko Borchert, Edward Hunter Christie, Christian Fjäder & Lars-Hendrik Hartwig

Navigating geoeconomic risks. Towards an international business risk and resilience monitor, FIIA Report 71 (2022)

Mikael Wigell, Mariette Hägglund, Christian Fjäder, Emma Hakala, Johanna Ketola & Harri Mikkola

Nordic Resilience. Strengthening cooperation on security of supply and crisis preparedness, FIIA Report 70 (2022)

Katja Creutz & Sia Spiliopou Åkermark

The Faroe Islands, Greenland and the Åland Islands in Nordic cooperation, FIIA Report 69 (2021)

Katja Creutz, Sofie Berglund, Telli Betül Karacan, Alberto Giacometti, Kristi Haugevik, Ninna Nyberg

Sørensen, Mari Wøien Meijer & Axa Lares
Nordic cooperation amid pandemic travel restriction, FIIA Report 68 (2021)

Niklas Helwig (toim.)

Strategic autonomy and the transformation of the EU: New agendas for security, diplomacy, trade and technology, FIIA Report 67 (2021)

Bart Gaens & Ville Sinkkonen

Great-power competition and the rising us-China rivalry: Towards a new normal?, FIIA Report 66 (2020)

Teemu Tammikko & Tuomas Iso-Markku

The EU's external action on counter-terrorism: Development, structures and actions, FIIA Report 65 (2020)

Antto Vihma, Gunilla Reischl, Astrid Nonbo Andersen & Sofie Berglund

Climate change and populism: Comparing the populist parties' climate policies in Denmark, Finland and Sweden, FIIA Report 64 (2020)

Niklas Helwig, Juha Jokela & Clara Portela (toim.)

Sharpening EU sanctions policy: Challenges and responses in a geopolitical era, FIIA Report 63 (2020)

Ryhor Nizhnikau & Arkady Moshes (toim.)

Ukraine and its regions: Societal trends and policy implications, FIIA Report 62 (2020)

Emma Hakala, Harri Mikkola, Juha Käpylä, Matti Pesu & Mika Aaltola

Suomen huoltovarmuus ja Baltian alue: Tiivistyvät yhteydet muuttuvassa turvallisuusympäristössä, FIIA Report 61 (2019)

Leo Michel & Matti Pesu

Strategic deterrence redux: Nuclear weapons and European security, FIIA Report 60 (2019)

Katja Creutz, Tuomas Iso-Markku, Kristi Raik & Teija Tiilikainen

The changing global order and its implications for the EU, FIIA Report 59 (2019)

Arkady Moshes & András Rác (toim.)

What has remained of the USSR: Exploring the erosion of the post-Soviet space, FIIA Report 58 (2019)

Marcin Kaczmarek, Mark N. Katz & Teija Tiilikainen

The Sino-Russian and US-Russian relationships: Current developments and future trends, FIIA Report 57 (2018)

Kristi Raik, Mika Aaltola, Jyrki Kallio & Katri Pynnöniemi

The security strategies of the US, China, Russia and the EU: Living in different worlds, FIIA Report 56 (2018)

Harri Mikkola, Mika Aaltola, Mikael Wigell, Tapio Juntunen & Antto Vihma

Hybridivaikuttaminen ja demokratian resilienssi: ulkoisen häirinnän mahdollisuudet ja torjuntakyky liberaaleissa demokratioissa, FIIA Report 55 (2018)

Mika Aaltola, Charly Salenius-Pasternak, Juha Käpylä & Ville Sinkkonen (toim.)

Between change and continuity: Making sense of America's evolving global engagement, FIIA Report 54 (2018)

Marco Siddi (toim.)

EU member states and Russia: national and European debates in an evolving international environment, FIIA Report 53 (2018)

Elina Sinkkonen (toim.)

The North Korean Conundrum: International responses and future challenges, FIIA Report 52 (2017)

Mika Aaltola & Bart Gaens (toim.)

Managing Unpredictability: Transatlantic relations in the Trump era, FIIA Report 51 (2017)

Tuomas Iso-Markku, Juha Jokela, Kristi Raik, Teija Tiilikainen & Eeva Innola (toim.)

The EU's Choice: Perspectives on deepening and differentiation, FIIA Report 50 (2017)

Mika Aaltola, Christian Fjäder, Eeva Innola, Juha Käpylä & Harri Mikkola

Huoltovarmuus muutoksessa: Kansallisen varautumisen haasteet kansainvälisessä toimintaympäristössä, FIIA Report 49 (2016)

Juha Pyykönen

Nordic Partners of NATO: How similar are Finland and Sweden within NATO cooperation? FIIA Report 48 (2016)

Kristi Raik & Sinikukka Saari (toim.)

Key Actors in the EU's Eastern Neighbourhood: Competing perspectives on geostrategic tensions, FIIA Report 47 (2016)

Toivo Martikainen, Katri Pynnöniemi, Sinikukka Saari & Ulkopoliittisen instituutin työryhmä

Venäjän muuttuva rooli Suomen lähialueilla: Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan raportti (2016)

Mika Aaltola & Anna Kronlund (toim.)

After Rebalance: Visions for the future of US foreign policy and global role beyond 2016, FIIA Report 46 (2016)

Katri Pynnöniemi & András Rác (toim.)

Fog of Falsehood: Russian Strategy of Deception and the Conflict in Ukraine, FIIA Report 45 (2016)

Niklas Helwig (toim.)

Europe's New Political Engine: Germany's role in the EU's foreign and security policy, FIIA Report 44 (2016)

András Rác

Russia's Hybrid War in Ukraine: Breaking the Enemy's Ability to Resist, FIIA Report 43 (2015)

Katri Pynnöniemi & James Mashiri

Venäjän sotilasdoktriinit vertailussa: Nykyinen versio viritettiin kriisiajan taajuudelle, FIIA Report 42 (2015)

Andrei Yeliseyev

Keeping the door ajar: Local border traffic regimes on the EU's eastern borders, FIIA Report 41 (2014)

Mika Aaltola, Juha Käpylä, Harri Mikkola & Timo Behr

Towards the Geopolitics of Flows: Implications for Finland, FIIA Report 40 (2014)

Juha Jokela, Markku Kotilainen, Teija Tiilikainen & Vesa Vihriälä

EU:n suunta: Kuinka tiivis liitto? FIIA Report 39 (2014)

Juha Jokela (toim.)

Multi-speed Europe? Differentiated integration in the external relations of the European Union, FIIA Report 38 (2013)

Sean Roberts

Russia as an international actor: The view from Europe and the US, FIIA Report 37 (2013)

Rosa Balfour & Kristi Raik

Equipping the European Union for the 21st century: National diplomacies, the European External Action Service and the making of EU foreign policy, FIIA Report 36 (2013)

Katri Pynnöniemi (toim.)

Russian critical infrastructures: Vulnerabilities and policies, FIIA Report 35 (2012)

Tanja Tamminen (toim.)

Strengthening the EU's peace mediation capacities: Leveraging for peace through new ideas and thinking, FIIA Report 34 (2012)

Harri Mikkola, Jukka Anteroine & Ville Lauttamäki (toim.)

Uhka vai mahdollisuus? Suomi ja Euroopan puolustus- ja turvallisuusmarkkinoiden muutos, FIIA Report 33 (2012)

Touko Piiparinen & Ville Brummer (toim.)

Global networks of mediation: Prospects and avenues for Finland as a peacemaker, FIIA Report 32 (2012)

Ilmastomuutos ja Suomen huoltovarmuus

Ketjuuntuvien ja siirtymävaikutusten merkitys
Suomen toimitusketjuille ja varautumiselle

Ilmastomuutos uhkaa Suomen huoltovarmuutta monin tavoin. Sen globaalit seuraukset, kuten myrskyjen, helleaaltojen ja maastopalojen kaltaisten sään ääri-ilmiöiden voimistuminen, vedenkierron muutokset sekä ekosysteemien heikkeneminen aiheuttavat häiriöitä muun muassa ruoantuotantoon, kaivostointaan, teollisuuteen, lääkkeiden valmistukseen, maatalouden tuotantopanosten saantiin ja logistiikkaan. Ilmastomuutoksen hillintään pyrkivä vihreä siirtymä auttaa lievittämään monia riskejä, mutta samalla aiheuttaa esimerkiksi uusia raaka-aineriippuvuuksia, joiden tunnistaminen on välttämätöntä niiden hallitsemiseksi.

Tässä raportissa kartoitetaan ilmastomuutoksen vaikutuksia huoltovarmuuteen ja tunnistetaan erityisesti Suomen kannalta olennaisia vaikutuksia. Riskejä tarkastellaan pääasiassa neljän sektorin, eli lääkehuollon, energiasiirtymän kriittisten raaka-aineiden, lannoitteiden sekä sähkön ja lämmön toimitus- ja huoltovarmuushaasteiden näkökulmista. Lisäksi raportissa hahmotetaan keinoja ilmastomuutoksen huoltovarmuusriskien ennakointiin ja niihin varautumiseen kokonaisturvallisuuden toimintamallia hyödyntäen.