

# Strategiset raaka-aineet Helsingin kaupungin hankinnoissa

Helsinki

# Sisältö

<b>Selvityksen tausta ja tavoite</b> .....	<b>3</b>
<b>Strategisten raaka-aineiden saatavuus</b> .....	<b>5</b>
<b>Katsaus lainsäädäntöön ja tavoitteisiin</b> .....	<b>9</b>
Tärkeimmät kriittisiin raaka-aineisiin liittyvät lainsäädännöt ja tavoitteet .....	10
Muut kriittisiin materiaaleihin ja kiertotalouteen liittyvät lainsäädännöt ja tavoitteet .....	10
<b>Hankintaryhmien strategiset raaka-aineet ja vaikuttavuusarviointi</b> .....	<b>13</b>
Ajoneuvot.....	13
<i>Sähköajoneuvot</i> .....	15
<i>Sähköautojen ajovoima-akut</i> .....	15
Aurinkopaneelit .....	17
ICT-laitteet .....	18
<i>Puhelimet ja tabletit</i> .....	19
<i>Tietokoneet</i> .....	21
Lataus.....	22
Lämpöpumput.....	22
Robotiikka.....	23
<b>Ajoneuvojen ja ICT-laitteiden käsittely</b> .....	<b>24</b>
Ajoneuvot.....	24
<i>Ajoneuvojen ja ajovoima-akkujen kierrätysteknologiat</i> .....	24
<i>Kierrätyksen kaupallisuus ja tulevaisuus</i> .....	25
<i>Uudenlaiset akkuteknologiat</i> .....	26
ICT-laitteet (älypuhelimet, tietokoneet) .....	26
<i>ICT-laitteiden kierrätysteknologiat</i> .....	27
<i>Kierrätyksen kaupallisuus ja tulevaisuus Suomessa</i> .....	29
<b>Strategisten raaka-aineiden kiertotalouden edistäminen</b> .....	<b>31</b>
Tuotteiden valinta ja valintakriteerit.....	31
Hankintapolitiikat ja -ohjeet.....	31
Markkinavuoropuhelut .....	32
Innovaatiot ja pilotointi sekä hankeyhteistyö .....	33

Julkaistu: Tammikuu 2024

Tekijät: Anni Mannonen, Meri Pöntynen, Ying Zhu, Ramboll Finland Oy



# Selvityksen tausta ja tavoite

Helsingin kaupunkistrategiassa 2021–2025 on asetettu Helsingille tavoite olla hiilineutraali vuonna 2030 ja hiilinolla vuonna 2040. Ilmastönäkökulma huomioidaan erityisesti kaupunkirakentamisessa, liikkumisessa ja energiaratkaisuissa. Sähköautoinfran kehittäminen nähdään yhtenä tärkeänä toimenpiteenä älykkään liikenteen edistämiseksi, ja digitalisaation mahdollisuuksia halutaan hyödyntää kaupungin kehittämisessä. Vihreän siirtymän ja digitalisaation haasteena on kriittisten materiaalien saatavuus.

Helsinki on vuonna 2020 julkaissut hankintastrategian, jossa vaikuttavuus ja vastuullisuus on yksi kolmesta teemasta, joihin strategia on jaettu. Ilmasto- ja ympäristönäkökulmat on huomioitu osana hankintastrategiaa, minkä lisäksi myös sosiaalinen vastuu on osa strategiaa.<sup>1</sup>

Helsingin kaupungilla on 26.6.2023 hyväksytty Helsingin kierto- ja jakamistalouden toimenpideohjelma. Ohjelmaan on kirjattu seuraava toimenpide, jonka osana tämä ”Strategiset raaka-aineet Helsingin kaupungin hankinnoissa” -selvitys toteutettiin:

*Seurataan aktiivisesti kriittisiin raaka-aineisiin kohdistuvaa tutkimus- ja kehitystyötä sekä osallistutaan aihetta käsitteleviin hankkeisiin ja kokeiluihin. Selvitetään kaupungin keskeiset hankintaryhmät, joihin liittyy kriittisiä raaka-aineita. Pilotoidaan ja otetaan käyttöön näille ryhmille hankintakriteereitä, jotka edistävät muun muassa kriittisten raaka-aineiden kierrätystä ja korvaamista sekä sosiaalisen vastuullisuuden toteutumista.*

Kriittisiksi raaka-aineiksi kutsutaan taloudellisesti tärkeimpiä raaka-aineita, joihin liittyy suuri toimitusriski. Kriittiset raaka-aineet ovat olennaisia useiden toimialojen kannalta ja niitä käytetään kaikkialla maailmassa esimerkiksi älypuhelimissa, sähköajoneuvoissa ja lasin sekä kasvilannoitteiden valmistuksessa.<sup>2</sup>

Euroopan komissio on esittänyt maaliskuussa 2023 kriittisiä raaka-aineita koskevan säädöksen, jonka tarkoituksena on lisätä ja monipuolistaa EU:n kriittisten raaka-aineiden toimituksia, vahvistaa kiertotaloutta ja kierrätystä sekä tukea resurssitehokkuutta ja korvaavien aineiden kehittämistä. Sääädöksessä on määritetty 34 kriittistä raaka-ainetta, jotka ovat metalleja, mineraaleja ja luonnonmateriaaleja.

Kriittisten raaka-aineiden joukosta on laadittu pienempi strategisten raaka-aineiden luettelo. Strategisia raaka-aineita on 16 ja ne ovat seuraavat: vismutti, boori (metallurginen laatu), koboltti, kupari, gallium, germanium, litium (akkulaatu), magnesiummetalli, mangaani (akkulaatu), luonnongrafiitti (akkulaatu), nikkeli (akkulaatu), platinaryhmän metallit, magneettien harvinaiset maametallit (Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Sm ja Ce), piimetalli, titaanimetalli ja volframi.<sup>3</sup>

Raaka-aineiden strateginen merkitys määritetään sen perusteella, millainen merkitys raaka-aineella on vihreän ja digitaalisen siirtymän sekä puolustus- ja avaruussovellusten kannalta. Merkityksen määrittelyssä huomioidaan strategisen teknologian määrä, merkityksellisen strategisen teknologian valmistukseen tarvittavan raaka-aineen määrä, sekä merkityksellisen strategisen teknologian odotettu maailmanlaajuinen kysyntä.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Helsingin kaupungin hankintastrategia 2020. Helsingin kaupunginkanslia. Talous- ja suunnitteluosasto. Helsinki. 2020.

<sup>2</sup> <https://www.consilium.europa.eu/fi/infographics/critical-raw-materials>

<sup>3</sup> Euroopan komission säädösehdotus COM/2023/160. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus puitteiden vahvistamisesta kriittisten raaka-aineiden turvatun ja kestäväen tarjonnan varmistamiseksi ja asetusten (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 ja (EU) 2019/1020 muuttamisesta, Liite 1

<sup>4</sup> Euroopan komission säädösehdotus COM/2023/160. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus puitteiden vahvistamisesta kriittisten raaka-aineiden turvatun ja kestäväen tarjonnan varmistamiseksi ja asetusten (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 ja (EU) 2019/1020 muuttamisesta, Liite 1

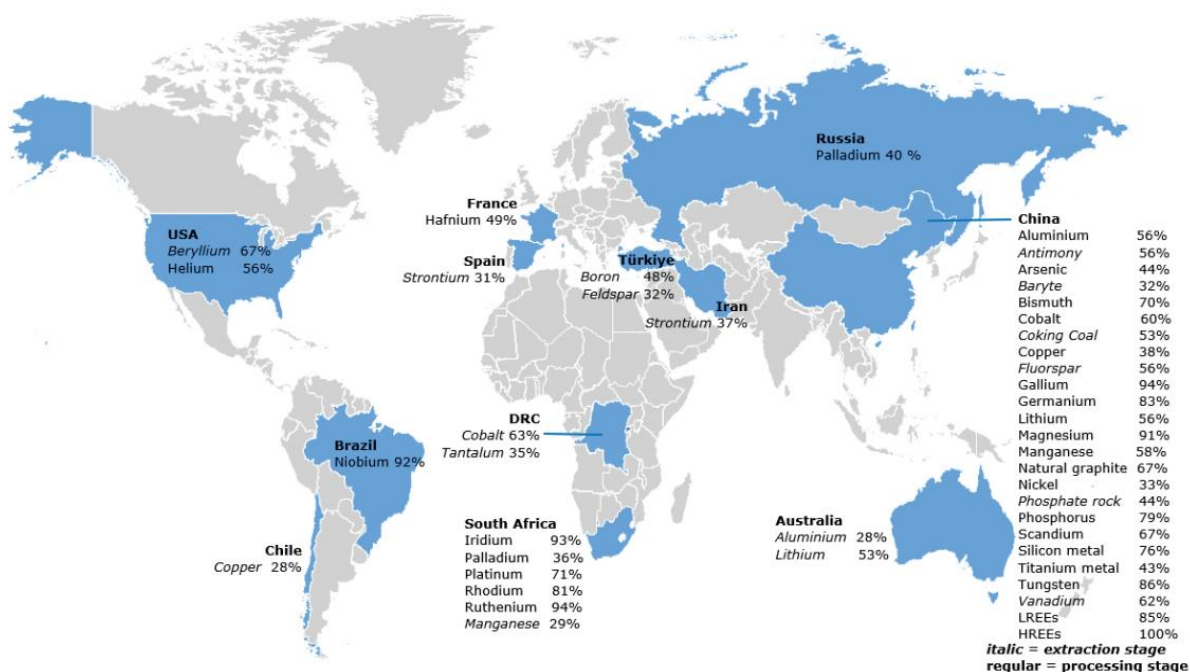
Euroopan komissio on määrittänyt ja julkaissut kriittisten ja strategisten raaka-aineiden listauksen kolmen vuoden välein, ja uuden säädösehdotuksen jälkeen listaus tullaan päivittämään neljän vuoden välein.

Tässä selvityksessä käsitellään kirjallisuuteen perustuen strategisia raaka-aineita ja niiden saatavuutta sekä aiheeseen liittyvää lainsäädäntöä. Helsingin kaupungin hankintoihin liittyen selvityksessä huomioidaan hankintaryhmät, joiden tuotteet sisältävät strategisia raaka-aineita. Hankintaryhmistä valittiin tarkemmin tarkasteltavat tuoteryhmät, joiden osalta selvitettiin hankintamääriä ja tehtiin vaikuttavuusarviointia selvittämällä ja laskemalla tuotteiden sisältämiä strategisia raaka-aineita. Tarkasteltaviksi tuoteryhmiksi valittiin ajoneuvot, aurinkopaneelit, ICT-laitteet, sähköautojen latausinfra, lämpöpumput ja robotiikka. Myös muissa hankintaryhmissä ja yksittäisissä tuotteissa voi olla strategisia raaka-aineita, mutta tarkasteluun valittiin yhdessä Helsingin kaupungin kanssa edellä mainitut tuoteryhmät niiden olennaisuuden vuoksi digitalisaatioon ja vihreään siirtymään liittyen. Lisäksi tehtiin ehdotuksia toimenpiteiksi, jotka edistävät strategisten raaka-aineiden kiertotaloutta.

Selvityksen on toteuttanut Ramboll lokakuun 2023 ja tammikuun 2024 välisenä aikana Helsingin kaupungin toimeksiantona. Selvitys on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, hyödyntämällä Rambollin asiantuntemusta sekä haastatteleamalla Helsingin kaupungin hankinta-asiantuntijoita sekä muita asiantuntijoita.

# Strategisten raaka-aineiden saatavuus

Strategisia raaka-aineita hankitaan pääasiassa EU:n ulkopuolelta ja joidenkin raaka-aineiden osalta EU on riippuvainen vain yhdestä maasta. Esimerkiksi ainoastaan Kiina toimittaa EU:hun raskaita maametalleja, ja se onkin maailman suurin kriittisten raaka-aineiden toimittaja useimpien muidenkin raaka-aineiden osalta. Suurimmat kriittisten raaka-aineiden tuottajat ja niiden osuus globaalista tuotannosta on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 1).

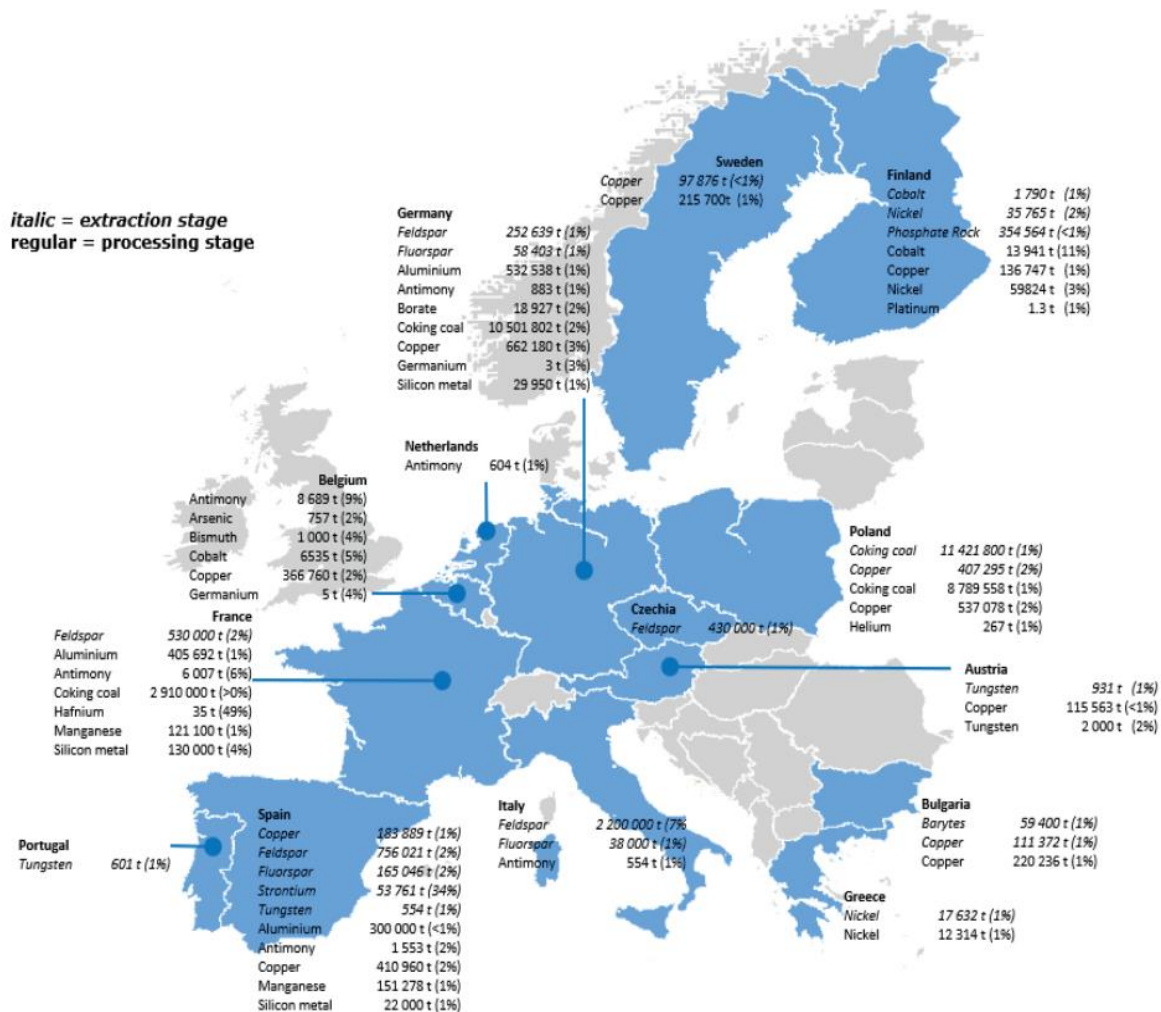


Kuva 1. Suurimmat kriittisten raaka-aineiden tuottajat ja niiden osuus globaalista tuotannosta.<sup>5</sup>

Strategisista raaka-aineista EU:n sisältä saadaan esimerkiksi kuparia Puolasta ja nikkeliä Suomesta. Suurimmat kriittisten raaka-aineiden tuottajat EU:ssa sekä niiden osuus globaalista tuotannosta on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 2). EU:sta saadaan esimerkiksi 3 % volframin globaalista tuotannosta Itävallasta, Portugalista ja Espanjasta; 17 % koboltista Suomesta, Belgiasta ja Ranskasta; 7 % germaniumista Saksasta ja Belgiasta; 5 % piimetallista Ranskasta, Espanjasta ja Slovakiasta; sekä 4 % nikkelistä Suomesta, Kreikasta ja Ranskasta.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> European Commission, Grohol, M. & Veeh, C., Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Publications Office of the European Union. 2023. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>

<sup>6</sup> European Commission, Grohol, M. & Veeh, C., Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Publications Office of the European Union. 2023. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>



Kuva 2. EU:n suurimmat kriittisten raaka-aineiden tuottajat ja niiden osuus globaalista tuotannosta (2016–2020).<sup>7</sup>

Strategisten raaka-aineiden kysynnän kasvu johtuu siirtymisestä digitalisaation ja datan hyödyntämiseen ja hiilineutraaliin yhteiskuntaan. Kysyntä kasvaa teollisuuden ja liikenteen sähköistymisen myötä. Strategisista raaka-aineista esimerkiksi akkuihin käytettävän litiumin kysynnän pelkästään EU:ssa arvioidaan kasvavan vuodesta 2020 vuoteen 2030 mennessä 12-kertaiseksi ja 21-kertaiseksi vuoteen 2050 mennessä. Globaalisti vastaavan kasvun arvioidaan olevan vuodesta 2020 vuoteen 2030 mennessä 18-kertainen ja vuoteen 2050 mennessä 90-kertainen. Esimerkiksi tuulivoimaloissa ja sähköajoneuvoissa käytettävien harvinaisten maametallien kysynnän arvioidaan kasvavan EU:ssa 6–7-kertaiseksi vuoteen 2050 mennessä. Kiertotaloudella ja strategisten raaka-aineiden kierrättämisellä voidaan lisätä EU:n omavaraisuutta ja kriisinkestävyyttä.<sup>8</sup>

Strategisten raaka-aineiden maailmanlaajuiset tuotantomäärät ja raaka-aineiden loppuelinkaaren kierrätysaste perustuen Euroopan komission tietoihin<sup>9,10</sup> ja tämänhetkinen kierrätys Pohjoismaissa perustuen GTK:n selvityksiin<sup>11</sup> on esitetty taulukossa (Taulukko 1). Tällä hetkellä strategisista raaka-aineista pienimmät tuotantomäärät ovat platinaryhmän metalleilla ja germaniumilla. Suurimmat tuotantomäärät ovat kuparilla ja mangaanilla. On kuitenkin huomioitava, että raaka-aineilla on eri määrät erilaisia käyttötarkoituksia, jolloin niiden

<sup>7</sup> European Commission, Grohol, M. & Veeh, C., Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Publications Office of the European Union. 2023. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>

<sup>8</sup> <https://www.sitra.fi/artikkelit/sitran-lausunto-eun-kriittisia-raaka-aineita-koskevasta-aloitteesta/> 12.12.2023

<sup>9</sup> <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/> 12.12.2023

<sup>10</sup> European Commission, Grohol, M. & Veeh, C., Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Publications Office of the European Union. 2023. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>

<sup>11</sup> <https://www.gtk.fi/en/critical-metals-and-minerals-in-fennoscandia/> 12.12.2023

tuotantomäärää ei voi suoraan verrata keskenään, eikä se välttämättä ole linjassa hyödynnettävissä olevien varantojen kanssa.

Taulukko 1. Strategisten raaka-aineiden tuotantomäärät ja kierrätys.

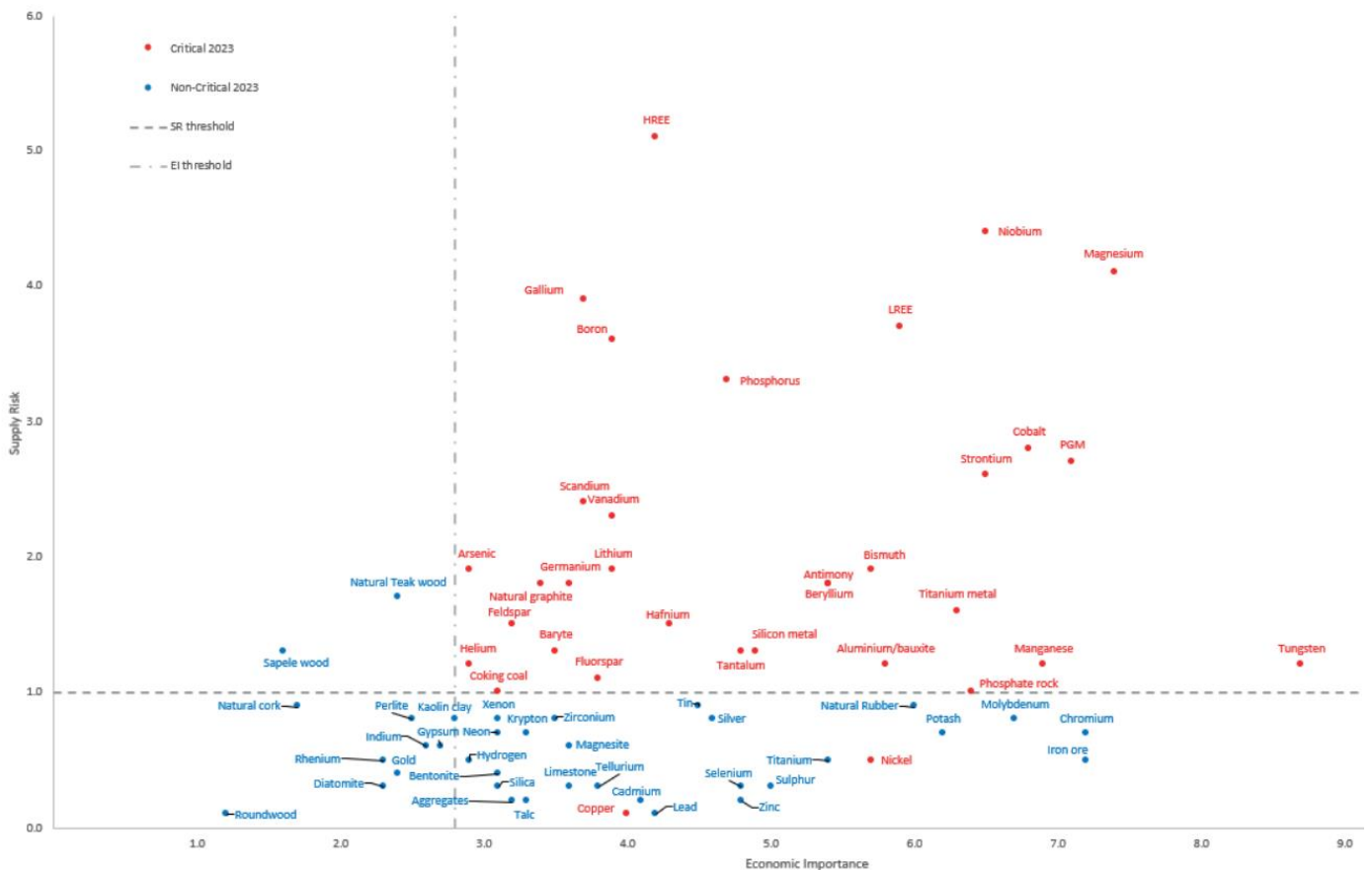
Raaka-aine	Tuotantomäärä (2021)	Kierrätysaste	Kierrätys Pohjoismaissa
Vismutti	11 000 t	0 %	<b>Nykyhetki:</b> Metalliseosromusta, laadun vuoksi kierrätys on hyvin rajoitettua. <b>Tulevaisuus:</b> Kierrätys tuotteiden käytön jälkeen
Boori	4 920 000 t	1 %	
Koboltti	134 000 t	22 %	<b>Nykyhetki:</b> Kierrätysaste elinkaaren päättymisen yhteydessä 32 %, romumetallista
Kupari	21 415 000 t	55 %	<b>Nykyhetki:</b> Otetaan talteen vanhasta (kuluttajien käytöstä poistettu) ja uudesta (valmistuksessa syntyvä) kierrätysromusta. <b>Tulevaisuus:</b> Kaatopaikoilta, sähköautoista
Gallium	434 t	0 %	Talteenottoa teollisuuden romusta, kuluttajatuotteista ei
Germanium	179 t	2 %	Noin 30 % käytetystä germaniumista kierrätetyistä materiaaleista. Oletetaan kasvavan.
Litium	575 000 t	0 %	<b>Nykyhetki:</b> Vain ei-teollisen mittakaavan kierrätystä, kokonaistalteenotto huono. <b>Tulevaisuus:</b> Kierrätysaste kasvaa lainsäädännön ja määräysten sekä talteenoton mahdollistavien prosessien ansiosta.
Magnesium	1 057 000 t	13 %	<b>Nykyhetki:</b> Kierrätys pääasiassa autojen metalliromusta. <b>Tulevaisuus:</b> Kierrätys tuotteiden käytön jälkeen kasvaa.
Mangaani	21 219 000 t	9 %	<b>Nykyhetki:</b> Kierrätetään teräsromuna > 50 %, muu kierrätys vähäistä. <b>Tulevaisuudessa</b> mahdollisesti kierrätetään myös paristoista.
Grafiitti	1 253 000 t	3 %	<b>Nykyhetki:</b> Kierrätetään hyvin rajoitetusti. <b>Tulevaisuus:</b> Käytettyjen akkujen kierrätys lisääntyy.
Nikkeli	2 812 000 t	16 %	<b>Nykyhetki:</b> Nikkelipitoisesta jätteestä sulattamalla, valmistetaan seosmetalleja. <b>Tulevaisuus:</b> Tehokkaampaa talteenottoa mm. akuista.
Platina*	194 t	10 % (platinaryhmän metallit)	<b>Nykyhetki:</b> Noin 51,6 t talteenotettiin vuonna 2021 <b>Tulevaisuus</b> (kaikki platinaryhmän metallit): Kierrätysasteen arvioidaan kasvavan ajoneuvojen pakokaasukatalyysaattorien lisääntymisen vuoksi, elektroniikkaa ja muuta romua tulossa saataville.
Rutenium*	34 t		Noin 11,5 t talteenotettiin vuonna 2021.
Palladium*	213 t		Noin 104,6 t talteenotettiin vuonna 2021.
Rodium*	24 t		
Iridium*	8 t		
Neodyymi**	47 500 t		3 % (LREE)
Praseodyymi**	15 000 t		
Gadolinium**	5 100 t		
Samarium**	5 500 t		
Cerium**	106 500 t		
Terbium**	700 t	4 % (HREE)	
Dysprosium**	3 100 t		
Piimetalli	3 285 000 t	0 %	<b>Nykyhetki:</b> Vain aurinkosähkö- ja elektroniikkakäytön piimetallia voidaan kierrättää. <b>Tulevaisuus:</b> Kierrätyksen odotetaan kasvavan
Titaani	13 532 000 t	19 %	<b>Nykyhetki:</b> Rautaromun ja kuonan kierrätys. <b>Tulevaisuus:</b> Kierrätetyn titaanin osuus kattaa vain pienen osan kysynnästä, kulutus kasvaa nopeasti
Volframi	101 000 t	42 %	<b>Nykyhetki:</b> Kierrätys romusta ja käytetyistä työkaluista

\* Platinaryhmän metalli

\*\* Harvinainen maametalli

GTK:n raportin<sup>12</sup> mukaan strategisista raaka-aineista hyvin korkea saantiriski on harvinaisilla maametalleilla ja magnesiummetallilla. Korkea saantiriski on germaniumilla ja boorilla. Keskitason saantiriskin raaka-aineita ovat koboltti, platinaryhmän metallit sekä grafiitti. Matalamman saantiriskin raaka-aineita ovat muun muassa pii, mangaani, gallium, kromi ja kupari.

Alla olevassa kuvassa (Kuva 3) on esitetty raaka-aineiden kriittisyyksiä toimitusriskin ja taloudellisen merkityksen mukaan. Tämän Euroopan komission raportissa olevan määritelmän mukaan strategisista raaka-aineista kriittisimpiä ovat raskaat ja kevyet harvinaiset maametallit (HREE, LREE), magnesium, gallium, boori (boron), koboltti (cobalt) ja platinaryhmän metallit (PGM).<sup>13</sup>



Kuva 3. Raaka-aineiden kriittisyys toimitusriskin ja taloudellisen merkityksen mukaan.<sup>14</sup>

<sup>12</sup> T. Eerola, P. Eilu, J. Hanski, S. Horn, J. Judl, M. Karhu, P. Kivikytö-Reponen, P. Lintinen & B. Långbacka. Digitalisaatio ja luonnonvarat. GTK:n tutkimustyöraportti 53/2021. Geologian tutkimuskeskus. 2021.

<sup>13</sup> European Commission, Grohol, M. & Veeh, C., Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Publications Office of the European Union. 2023. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>

<sup>14</sup> European Commission, Grohol, M. & Veeh, C., Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Publications Office of the European Union. 2023. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>



# Katsaus lainsäädäntöön ja tavoitteisiin

Kriittisiin materiaaleihin liittyy niin EU:n kuin kansallisenkin tason lainsäädäntöä ja tavoitteita, joilla pyritään varmistamaan kriittisten materiaalien saatavuus, resurssitehokkuus sekä kiertotalouden toteutuminen.

Euroopan komissio on hyväksynyt 16.3.2023 kriittisiä raaka-aineita koskevan säädösehdotuksen ([Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus puitteiden vahvistamisesta kriittisten raaka-aineiden turvatun ja kestävä tarjonnan varmistamiseksi ja asetusten \(EU\) 168/2013, \(EU\) 2018/858, 2018/1724 ja \(EU\) 2019/1020 muuttamisesta](#)), jonka tavoitteena on varmistaa kriittisten raaka-aineiden turvattu, monipuolinen, kohtuuhintainen ja kestävä saanti EU:ssa. Tarkoituksena on vahvistaa strategisten raaka-aineiden arvoketjun eri vaiheita siten, että vuoteen 2030 mennessä EU:n kapasiteetti kunkin raaka-aineen osalta on kasvanut merkittävästi. Säädöksessä keskitytään muihin kuin energiantuotannossa ja maataloudessa käytettäviin raaka-aineisiin.

Säädösehdotus pohjautuu vuoden 2008 raaka-ainealoitteeseen sekä vuoden 2020 kriittisten raaka-aineiden toimintasuunnitelmaan (Komission tiedonanto: Kriittisiin raaka-aineisiin liittyvä häiriönsietokyky: miten lisätä toimitusvarmuutta ja kestävyttä (EU) 474/2020). Säädöksessä mainitaan esimerkiksi, että kriittisten raaka-aineiden suhteellista jalanjälkeä koskeva avoimuus voi mahdollistaa myös muita kansallisen tason toimintalinjoja, kuten ympäristöä säästäviä julkisten hankintojen kriteerejä, joilla edistetään ympäristövaikutuksiltaan vähäisempien kriittisten raaka-aineiden tuotantoa.

Tällä hetkellä olemassa oleva ja suunniteltu kapasiteetti ei välttämättä riitä kattamaan ennustettua kysyntää, minkä vuoksi monet maat ovat ottaneet käyttöön politiikkoja, joiden avulla ne pyrkivät aktiivisesti varmistamaan kriittisten raaka-aineiden turvatun saatavuuden, mikä lisää kilpailua resursseista. Viimeaikaiset välttämättömien tavaroiden toimitushäiriöt ovat korostaneet EU:n toimitusriippuvuuksia ja mahdollisiin häiriöihin varautumisen tärkeyttä. Korvaavat raaka-aineet, raaka-aineiden käytön tehokkuuden lisääminen ja kiertotalous voivat jossain määrin hillitä kysynnän ennustettua kasvua, mutta niiden ei odoteta kääntävän kasvun suuntaa.

Kriittisten materiaalien saatavuuden turvaaminen on tärkeää, jotta voidaan saavuttaa vihreän ja digitaalisen tulevaisuuden tavoitteet. Säädösehdotuksessa on kuvattu kiertotaloutta koskevia kansallisia toimenpiteitä, jotka edesauttavat kriittisten materiaalien kierrätystä. Toimenpiteenä on muun muassa kriittisiä raaka-aineita sisältävien tuotteiden ja komponenttien uudelleenkäyttö ja kriittisiä raaka-aineita sisältävien jätteiden keräyksen lisääminen sekä asianmukainen kierrättäminen. Näiden lisäksi toimenpiteenä mainitaan, että tarvittaessa otetaan huomioon kierrätetty sisältö julkisiin hankintoihin liittyvissä myöntämisperusteissa sekä varmistetaan, että työvoimalla on taidot, joita tarvitaan kiertotalouden tukemiseen kriittisten raaka-aineiden arvoketjussa.

Lähitulevaisuudessa säädösehdotuksesta ja sen jälkeen voimaan tulevista säädöksistä ja tavoitteista johtuen kriittisiä raaka-aineita ja niiden kirjanpitoa voidaan tulla tarkentamaan. Esimerkiksi toimittaessaan komissiolle sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta annetun direktiivin 2012/19/EU mukaisesti kierrätetyn sähkö- ja elektroniikkalaiteromun määriä koskevia tietoja jäsenvaltioiden on erikseen yksilöitävä ja ilmoitettava tällaisista romulaitteista poistettujen, merkityksellisiä kriittisten raaka-aineiden määriä sisältävien komponenttien määrät sekä sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta talteen otettujen kriittisten raaka-aineiden määrät.

## Tärkeimmät kriittisiin raaka-aineisiin liittyvät lainsäädännöt ja tavoitteet

### Kriittisiä materiaaleja koskeva kansallinen lainsäädäntö mm.

- Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista 1048/2018: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181048>
- Valtio varautuu ennakoivasti huoltovarmuutta vaarantaviin omistusrakenteiden muutoksiin. Julkisten hankintojen mahdollinen kriittinen merkitys huoltovarmuuteen tunnistetaan ja näissä hankinnoissa otetaan huomioon huoltovarmuuden kannalta kriittisten julkisten palvelujen ja toimintojen jatkuvuuden turvaaminen.

### Vihreään siirtymään ja kiertotalouteen liittyvät lainsäädännöt ja tavoitteet

- Vihreä siirtymä – elpymis- ja palautumissuunnitelma: Tavoitteena on nostaa Suomi maailman kärkimaaksi vety- ja kiertotaloudessa, päästöttömissä energiajärjestelmissä ja muissa ilmasto- ja ympäristöratkaisuisissa. <https://vm.fi/vihrea-siirtyma>

### Kiertotalouden strateginen ohjelma

Kiertotalousohjelman visio on "Suomi 2035: Hiilineutraali kiertotalousyhteiskunta on menestyvän taloutemme perusta". <https://ym.fi/kiertotalousohjelma>

Vision toteutuminen edellyttää luonnonvarojen kestävä ja tehokasta käyttöä. Tätä linjaavat ohjelman seuraavat tavoitteet:

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

## Muut kriittisiin materiaaleihin ja kiertotalouteen liittyvät lainsäädännöt ja tavoitteet

### Ympäristönsuojelun lainsäädäntö

- EU:n ympäristölainsäädäntö kattaa raaka-ainehankkeita, myös kriittisiä raaka-aineita, koskevat luvanhakumenettelyt arvoketjun joka vaiheessa.
  - mukaan lukien direktiivi 2011/92/EU3 ympäristövaikutusten arvioinnista, direktiivi 2010/75/EU4 teollisuuden päästöistä, direktiivi 92/43/EY5 luontotyyppien sekä luonnonvaraisen eläimistön ja kasviston suojelusta, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/147/EY6 luonnonvaraisten lintujen suojelusta sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY7 vesipolitiikasta
- Ympäristönsuojelun lainsäädäntö ja ohjeet: <https://ym.fi/ymparistonsuojelun-lainsaadanto-ja-ohjeet>

### Jätelainsäädäntö

- EU:n jätepuitedirektiivi (2018/851/EU) sääntelee jätteiden keräystä, vähentämistä, kierrätystä ja käsittelyä, mukaan lukien kriittisiä raaka-aineita sisältävät jätevirrat. Se velvoittaa jäsenvaltioita toimenpiteisiin jätteiden syntymisen estämiseksi, erityisesti kriittisiä raaka-aineita sisältävien tuotteiden osalta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0851>
- Jätelaki 646/2011: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>

### Kaivostoimintaan liittyvä lainsäädäntö

- Kaivoslaki 621/2011: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110621>
- Kaivannaisteollisuuden jätehuoltodirektiivissä (2006/21/EY) edellytetään, että kaikkien kaivannaisteollisuuden jätteiden käsittelystä vastaavien toimijoiden on hankittava lupa. Toimijoita (toiminnassa olevien jätealueiden osalta) ja jäsenvaltioita (suljettujen ja hylättyjen jätealueiden osalta) vaaditaan selvittämään mahdollisuus kriittisten raaka-aineiden talteenottoon kaivannaisteollisuuden jätteistä. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0021>

### Sähkö- ja elektroniikkalaiteromulainsäädäntö

- Sähkö- ja elektroniikkalaiteromua koskevassa direktiivissä (2012/19/EU) vahvistetaan säännöt, joilla parannetaan resurssien tehokasta käyttöä ja uusioraaka-aineiden talteenottoa, kriittiset raaka-aineet mukaan luettuina, edistämällä sähkö- ja elektroniikkalaitteista peräisin olevan jätteen valmistelua uudelleenkäyttöön, kierrättämistä ja muita hyödyntämistapoja. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012L0019>
- Valtioneuvoston asetus sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta 519/2014: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140519>

### Romuajoneuvodirektiivi

- Romuajoneuvodirektiiviä 2000/53/EY12 tarkastellaan parhaillaan yhdessä moottoriajoneuvojen tyyppihyväksynnästä niiden uudelleenkäytettävyyden, kierrätettävyyden ja hyödynnettävyyden osalta annetun direktiivin 2005/64/EY13 kanssa. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex%3A32000L0053>
- Tavoitteena on vähentää romuajoneuvoista ja niiden osista peräisin olevaa jätettä ja lisätä kiertoa sekä perinteisten että sähköisten ajoneuvojen osalta, joissa on huomattavia määriä kriittisiä raaka-aineita. Lainsäädäntöaloite täydentää asetukseen sisältyviä kierrätettävyyksvaatimuksia vahvistamalla kierrätävyyden parantamista koskevia erityisvaatimuksia ajoneuvoissa oleville kestopagneeteille.

### Akkuasetus

- Akkuasetuksessa (2023/1542/EU) esimerkiksi asetetaan tavoitteita muun muassa litiumin talteenotolle ja määrätään pakollisista kierrätysmateriaalien osuuksista sekä laitteisiin sisältyvien irtoakkujen ja -paristojen irrotettavuudesta ja vaihdettavuudesta. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=OJ:JOL\\_2023\\_191\\_R\\_0001](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=OJ:JOL_2023_191_R_0001)
- Lisäksi akkuasetus asettaa veloitteita talouden toimijoille asianmukaisen huolellisuuden toimintapolitiikoille.

## Kemikaalilainsäädäntö

- Kemikaalien ja niitä sisältävien tuotteiden turvallisuus EU:ssa varmistetaan aineiden ja seosten luokituksesta, merkinnöistä ja pakkaamisesta annetussa asetuksessa (EY) N:o 1272/2008 vahvistetun vaaraluokittelun sekä kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista (REACH) annetussa asetuksessa (EY) N:o 1907/2006 säädettyjen riskinhallintatoimenpiteiden avulla, millä on suuri merkitys kriittisten raaka-aineiden kannalta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex%3A32008R1272>
- Tältä osin EU:n kestävyttä edistävässä kemikaalistrategiassa esitetään tarpeelliset toimet ihmisten terveyden ja ympäristön suojelemiseksi. Tähän sisältyy riskien vähentäminen sekä kaikkein vaarallisimpien kuluttaja- ja ammattituotteissa käytettävien kemikaalien korvaaminen. Strategiassa tunnustetaan myös tarve käyttää näitä kaikkein haitallisimpia kemikaaleja silloin, kun se on yhteiskunnan kannalta välttämätöntä. Tämä koskee monissa tapauksissa myös kriittisten raaka-aineiden käyttöä.

## Euroopan vihreän kehityksen ohjelma

- Poliittika-aloitteiden paketti, jonka tavoitteena on ohjata kohti vihreää siirtymää. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/#initiatives>

Aloitteita ovat esimerkiksi:

- Kiertotaloutta koskeva toimintasuunnitelma, jossa esitetään yli 30 toimea, jotka koskevat kestävien tuotteiden suunnittelua, kiertoa tuotantoprosesseissa sekä kuluttajien ja julkisten ostajien vaikutusmahdollisuuksien lisäämistä. Toimintasuunnitelma koskee useita eri aloja, kuten elektroniikka ja tieto- ja viestintäteknikka, akut, pakkaukset, muovit, tekstiilit, rakentaminen ja rakennukset sekä elintarvikkeet. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>
- Eurooppalainen ilmastolaki. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021R1119>

## Green deal sopimukset

- Green deal on vapaaehtoinen ja määräaikainen sopimus, jonka avulla etsitään ratkaisuja ilmastohaasteisiin, luonnon monimuotoisuuden vähenemiseen, luonnonvarojen ylikulutukseen ja kiertotalouden edistämiseen Suomessa. Sopimus tehdään valtion ja elinkeinoelämän välillä. Lisäksi sopimuksia voidaan solmia myös julkisen sektorin, kuten kuntien ja virastojen kanssa. <https://ym.fi/green-deal-sopimukset>
- Ympäristöministeriö on solminut seuraavat green deal sopimukset: Muovikassien vähentäminen, Autoalan hiilidioksidipäästöjen vähentäminen, Valtakunnallisen öljyjätehuollon kehittäminen, Työkonealan päästöjen vähentäminen, Kestävä purkamisen, Rakentamisen muovit, Yhdyskuntajäteveden puhdistaminen, Muoviset annospakkaukset, Päästöttömät työmaat ja Kestävät hankinnat varhaiskasvatuksessa.
- Valmisteilla on Kiertotalouden green deal vauhdittamaan yhteiskunnan siirtymistä kiertotalouden mukaiseen toimintaan, ja jonka avulla mukana olevat toimijat tunnistavat vaikuttavimmat kiertotaloustoimet oman toimintansa kannalta. Green deal on vapaaehtoinen, eikä varsinaista sopimusta allekirjoiteta. <https://ym.fi/kiertotalouden-green-deal>

# Hankintaryhmien strategiset raaka-aineet ja vaikuttavuusarviointi

Strategisia raaka-aineita käytetään useissa eri tuotteissa, jotka liittyvät uusiutuvan energian tuotantoon, sähköautoiluun, teollisuuteen, tieto- ja viestintäteknikkaan sekä avaruuteen ja puolustukseen. Tällaisia tuotteita ovat muun muassa tuuliturbiinit ja aurinkokennot, lämpöpumput, akut ja ajomoottorit, robotiikka, puhelimet ja tietokoneet, tiedonsiirtoverkot ja datan varastointi, 3D-tulostus sekä dronet ja satelliitit.<sup>15</sup>

Tässä selvityksessä keskityttiin tunnistetuista strategisia raaka-aineita sisältävistä tuoteryhmistä niihin, jotka ovat Helsingin kaupungin hankintoihin liittyen olennaisia. Rajausta tuoteryhmistä tehtiin yhdessä kaupungin kanssa ja selvityksessä tarkastellaan ajoneuvot, aurinkopaneelit, ICT-laitehankinnat (puhelimet, tabletit, tietokoneet), ajoneuvojen lataus, lämpöpumput sekä robotiikka. Työssä keskitytään näiden tuoteryhmien sisältämiin strategisiin raaka-aineisiin. Työssä tarkastellaan pääasiassa emoyhtiölle tehtyjä hankintoja, tehdyt rajaukset on kuvattu tarkemmin jokaisen tuoteryhmän yhteydessä.

Helsingin kaupungin hankintaorganisaatiota haastateltiin tuoteryhmien sisältämien tuotteiden tarkempaa tunnistamista varten. Haastatteluissa käytiin läpi kysymyksiä liittyen tuoteryhmien sisältämiin tuotteisiin, tuotteiden elinkaareen, hankintavolyymeihin nykyhetkessä, sekä muutoksia menneisiin tai tunnistettuihin tulevaisuuden muutoksiin. Lisäksi tuotteiden vaikutuksesta toimintavarmuuteen keskusteltiin. Tarkemmat haastattelukysymykset olivat:

- 1) Mitä tuotteita kaupunki hankkii mainittujen tuoteryhmien osalta? Kuinka pitkä on tuotteiden kesimääräinen elinkaari?
- 2) Mitkä ovat tuoteryhmien ja tuotteiden vuosittaiset hankintavolyymit?
- 3) Millaisia muutoksia näiden tuotteiden hankintamäärissä on ollut viimeisien vuosien aikana ja onko ennustettavissa, että määriin olisi tulossa lähitulevaisuudessa muutoksia?
- 4) Onko tiedossa, että lähivuosina olisi tulossa investointeja tai hankintoja sellaisia strategisia raaka-aineita sisältävien tuoteryhmien osalta, joita kaupunki ei ole aikaisemmin ostanut?
- 5) Millainen vaikutus tuotteilla on toimintavarmuuteen?
- 6) Millaista tietoa kaupungilla on saatavilla liittyen tuotteiden sisältämiin materiaaleihin (esim. ajoneuvot: onko käytössä olevat akkutyypit mahdollista selvittää)?

## Ajoneuvot

Helsingin tavoite olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä on havaittavissa ajoneuvohankinnoissa. Hiilineutraalisuustavoitteen lisäksi hankintoja tehdessä on otettava huomioon Laki ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimuksista (740/2021), ja työkonealan, sekä päästöttömien työmaiden

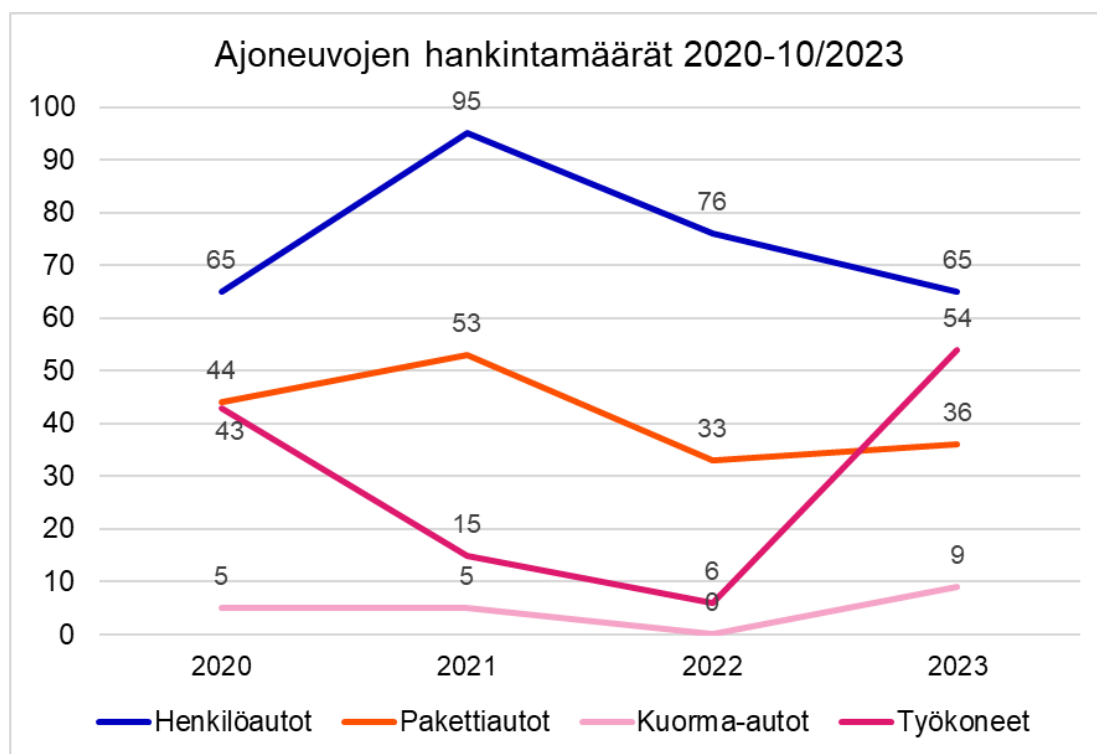
<sup>15</sup> S. Carrara, S. Bobba, D. Blagoeva, P. Alves Dias, A. Cavalli, K. Georgitzikis, M. Grohol, A. Itul, T. Kuzov, C. Latunussa, L. Lyons, G. Malano, T. Maury, Á Prior Arce, J. Somers, T. Telsnig, C. Veeh, D. Wittmer, C. Black, D. Pennington, M. Christou. Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study. JRC Science for Policy Report. The European Commission's science and knowledge service. 2023.

green deal -sopimukset. Lisäksi Helsingin kaupunginhallitus käsitteli 9.5.2022 asian *Ajoneuvojen ja kuljetuspalveluiden ympäristökriteerien vahvistaminen* (HEL 2022-003237)<sup>16</sup>. Kaupunginhallitus päätti asettaa ympäristökriteerit vuosille 2022–2030 esitetyn kriteerikokonaisuuden mukaisesti kaupungin ajoneuvo- ja kuljetuspalveluhankinnoille.

Ajoneuvot ovat tärkeä osa kaupungin toimintaa ja auttavat takaamaan toimintavarmuutta. Kaupungin palveluista esimerkiksi terveydenhuollon henkilökunta käyttää kaupungin autoja potilasvierailuilla.

Kaupungin hankinnoissa ajoneuvoiksi luetaan henkilöautot, pakettiautot, kuorma-autot, sekä työkoneet. Selvitystyön laatimishetkellä autokannassa on sekä sähkö- että polttomoottorihenkilöautoja ja -pakettiautoja. Kuorma-autot ja työkoneet ovat polttomoottoreilla toimivia. Ajoneuvojen elinkaari kaupungilla vaihtelee ajoneuvotyypeittäin. Henkilöautot ovat autokannassa 5–6 vuotta, pakettiautot 7–8 vuotta ja kuorma-autot sekä työkoneet 10–15 vuotta. Autojen elinkaari ei pääty tämän jälkeen, vaan se jatkuu vielä sen jälkeen, kun ne poistuvat kaupungin käytöstä. Kaupungin hankinnoissa eniten ostettu sähköauto on Nissan Leaf. Leafissa käytetään laminoituja litium-ioniakkuja, joissa positiivinen elektrodi on Ni-Co-Mn<sup>17</sup>.

Vuosina 2020–2023 Helsingin kaupungin hankkimien ajoneuvojen määrä on esitetty kuvaajassa (Kuva 4). Vuoden 2023 luvut sisältävät hankinnat 27.10.2023 asti. Työkoneisiin on sisällytetty työkoneet, monitoimikoneet, pyöräkuormaajat, lakaisuajoneuvot, ruohonleikkurit, sekä traktorit. Vuosina 2021–2023 henkilöautoista 107 kpl (46 %) ja pakettiautoista 19 kpl (16 %) oli täyssähköautoja. Kaupungin tavoitetilä on, että hankituista ajoneuvoista yhä suurempi osuus on sähköllä toimivia ajoneuvoja ja on odotettavissa, että sähköautojen määrä kaupungin autokannassa kasvaa.



Kuva 4. Ajoneuvojen hankintamäärät 2020–2023.

Työn tarkastelussa ei ole huomioitu Helsingin kaupungin pelastuslaitoksen tai KUVA/Liikunnan hankkimia autoja, luvuissa on mukana ainoastaan Staran Logistiikan kautta tehdyt hankinnat. Laskennassa huomioitiin ainoastaan kaupungin hankinnat ja palvelut on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

<sup>16</sup> <https://paatokset.hel.fi/fi/asia/hel-2022-003237?paatos=94d3247d-1fa6-c589-b6bd-80d5c5d00004> 7.11.2023

<sup>17</sup> [https://www.nissan-global.com/EN/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/LI\\_ION\\_EV/](https://www.nissan-global.com/EN/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/LI_ION_EV/) 7.11.2023

## Sähköajoneuvot

Sähköajoneuvot tarvitsevat enemmän mineraaleja valmistuksessaan kuin perinteiset polttomoottoriajoneuvot, tavallisesti kuusinkertaisesti. Perinteisissä autoissa on tunnistettu olevan kuparia, mangaania, sekä muita mineraaleja. Sähköautoissa on puolestaan tunnistettu olevan kuparia, litiumia, nikkeliä, mangaania, kobolttia, grafiittia, harvinaisia maametalleja, sekä muita mineraaleja.<sup>18</sup>

Sähköajoneuvojen ajovoima-akuissa käytetään litiumia, nikkeliä, mangaania, kobolttia, sekä grafiittia<sup>19</sup>. Magneettien harvinaisia maametalleja käytetään lasi- ja peilin kiillotusjauheessa, LCD-näytössä, sähkömoottorissa ja generaattorissa, sekä katalyysaattorissa<sup>20</sup>.

Helsingin kaupungin vuosina 2021–2023 hankkimien sähköautojen sisältämät strategisten raaka-aineiden määrät on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 2). Tarkat vuosikohtaiset sähköautojen määrät eivät olleet raportin laatimishetkellä tiedossa, joten vuosittaisen automäärän laskemiseen on käytetty vuosien 2021–2023 sähköajoneuvojen osuutta. Sähköautojen materiaalmäärien laskennassa, materiaalmäärät on laskettu kaikille auton osille, mukaan lukien akuille, moottorille ja glider:lle. Materiaalmäärät perustuvat 75 kWh NMC 622 katodi ja grafiittipohjaiselle anodi sähköautolle.<sup>21</sup>

*Taulukko 2. Strategisten raaka-aineiden määrä Helsingin kaupungin hankkimissa sähköajoneuvoissa vuosittain ja yhteensä. Sisältää strategisten raaka-aineiden määrät kaikkien sähköauton komponenttien osalta.*

Raaka-aineet sähköajoneuvoissa 2021–2023 [kg]					
Raaka-aine	Per auto	2021	2022	2023	Yhteensä
Grafiitti	66,3	3 402,9	2 625,3	2 325,6	8 353,8
Harvinaiset maametallit	0,5	25,7	19,8	17,5	63,0
Koboltti	13,3	682,6	526,6	466,5	1 675,8
Kupari	53,2	2 730,6	2 106,6	1 866,1	6 703,2
Litium	8,9	456,8	352,4	312,2	1 121,4
Mangaani	24,5	1 257,5	970,1	859,4	3 087,0
Nikkeli	39,9	2 047,9	1 579,9	1 399,6	5 027,4
Muut materiaalit	0,3	15,4	11,9	10,5	37,8

## Sähköautojen ajovoima-akut

Sähköautojen ajovoima-akut sisältävät grafiittia, nikkeliä, kuparia, mangaania, kobolttia ja litiumia<sup>22</sup>. Li-NMC akuissa, akun katodissa on litiumia, nikkeliä, mangaania sekä kobolttia. Suosituin anodimateriaali on grafiitti. Kuparia käytetään akkujen kaapeloinnissa.<sup>23</sup> Kuva 5

<sup>18</sup> <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/executive-summary> 7.11.2023

<sup>19</sup> <https://www.kriittisetmateriaalit.fi/tarkeimmat-mineraalit-sahkoauton-akussa/> 12.12.2023

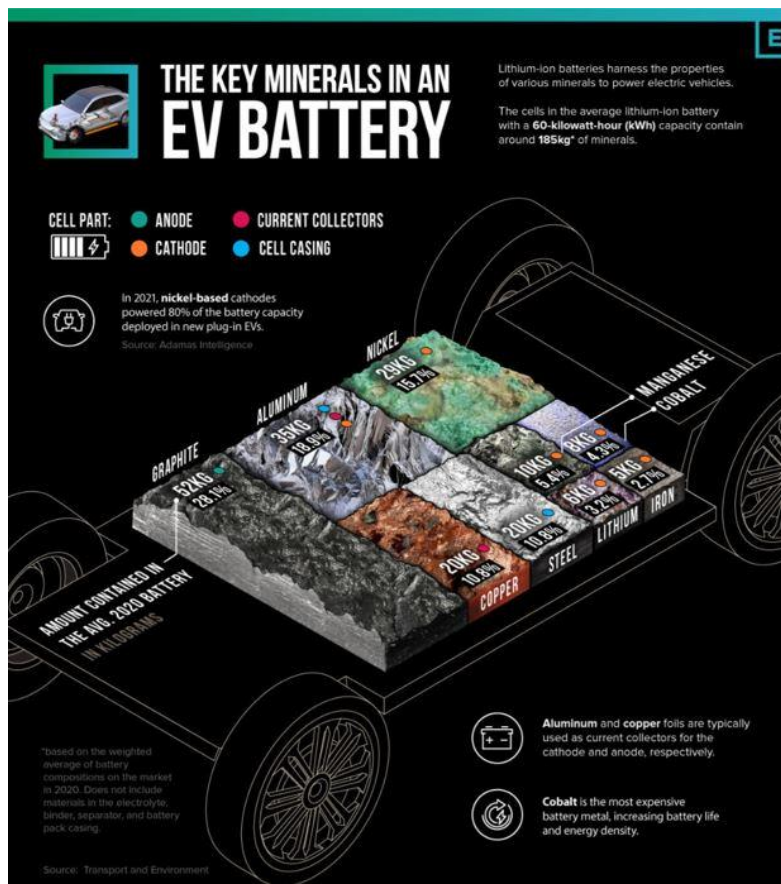
<sup>20</sup> <https://www.kriittisetmateriaalit.fi/wp-content/uploads/2019/07/REinEVsResourceWorldMagazine.jpg> 12.12.2023

<sup>21</sup> <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/executive-summary> 7.11.2023

<sup>22</sup> <https://www.kriittisetmateriaalit.fi/tarkeimmat-mineraalit-sahkoauton-akussa/> 9.11.2023

<sup>23</sup> <https://www.kriittisetmateriaalit.fi/tarkeimmat-mineraalit-sahkoauton-akussa/> 12.12.2023

esittää ajovoima-akkujen sisältämien materiaalien määrän. Eniten akuissa käytetään grafiittia, nikkeliä ja kuparia.



Kuva 5. Sähköjen ajovoima-akkujen sisältämät materiaali ja niiden määrät.<sup>24</sup>

Helsingin kaupungin vuosina 2021–2023 hankkimien autojen sisältämien ajovoima-akkujen strategisten raaka-aineiden määrät on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 3). Tarkat vuosikohtaiset sähköautojen ja niiden ajovoima-akkujen määrät eivät olleet raportin laatimishetkellä tiedossa, joten vuosittaisen automäärän laskemiseen on käytetty vuosien 2021–2023 sähköajoneuvojen osuutta. Ajovoima-akkujen materiaalimäärien laskennassa on käytetty yleisemmin ostetun Nissan Leafin akkutyypin (Li-NMC) materiaalien selvityksessä ja materiaalit on katsottu keskiarvoiselle 60 kWh akulle<sup>25</sup>.

<sup>24</sup> <https://www.kriittisetmateriaalit.fi/wp-content/uploads/2022/05/VisualCapitalist-Key-minerals-in-EV-Battery-2022may.jpg> 12.12.2023

<sup>25</sup> <https://www.kriittisetmateriaalit.fi/tarkeimmat-mineraalit-sahkoauton-akussa/> 9.11.2023



Taulukko 3. Strategisten raaka-aineiden määrä Helsingin kaupungin hankkimissa sähköajoneuvojen Li-NMC akuissa vuosittain ja yhteensä.

Raaka-aineet sähköajoneuvojen Li-NMC akuissa 2021–2023 [kg]					
Raaka-aine	Per auto	2021	2022	2023	Yhteensä
Grafiitti	52	2 669,0	2 059,0	1 824,0	6 552,0
Koboltti	8	410,6	316,8	280,6	1 008,0
Kupari	20	1 026,5	791,9	701,5	2 520,0
Litium	6	308,0	237,6	210,5	756,0
Mangaani	10	513,3	396,0	350,8	1 260,0
Nikkeli	29	1 488,5	1 148,3	1 017,2	3 654,0

## Aurinkopaneelit

Helsingin kaupungilla on käytössään noin 50 suuruudeltaan erilaista aurinkosähköjärjestelmää ja kaupungin hankinnoissa on vuosittain uusia aurinkosähköjärjestelmiä. On ennustettu, että aurinkosähköjärjestelmien määrä kasvaa vuosittain 10–20 % edelliseen vuoteen verrattuna. Aurinkosähkön hyödyntämisellä on vaikutusta sähkön toimintavarmuuteen ja samalla se lisää kaupungin omavaraisuutta energian suhteen. Kaupungin aurinkopaneelijärjestelmien suuruus on vaihtelevaa, suurimmassa järjestelmässä on 1 380 aurinkopaneelia ja pienimmillään yhdessä järjestelmässä on noin 20 aurinkopaneelia. Keskimäärin yhdessä järjestelmässä on 80–100 aurinkopaneelia. Aurinkopaneelit ovat melko pitkäikäisiä, niiden elinkaareksi arvioitu 30–40 vuotta. Kaupungilla olevat aurinkopaneelit ovat huipputeholtaan 200–415 Wp, keskiarvallisesti niiden teho on 300 Wp.

Strategisista raaka-aineista aurinkopaneeleissa on kuparia, piitä, galliumia, nikkeliä, booria ja germaniumia. Näiden raaka-aineiden käyttökohteita aurinkopaneeleissa ovat muun muassa seuraavat: kuparia käytetään johtoihin, kaapeleihin ja muuntimiin, piitä puolijohdemateriaalina kiteisissä aurinkopaneeleissa, galliumia käytetään seostusaineena puolijohdeissa, nikkeliä galvanoinnissa tai ruostumattoman teräksen kehyksissä, kiinnittimissä ja välikappaleissa ja booria käytetään saostusaineena piipohjaisten levyjen kidehilassa. Germaniumia käytetään puolijohdemateriaalina monikerrosliitos aurinkokennoissa avaruussovelluksissa.<sup>26</sup>

Helsingin kaupungilla on käytössä sekä yksi- että monikiteisiä aurinkopaneeleita. Taulukossa (Taulukko 4) on esitetty aurinkopaneeleissa esiintyvien strategisten raaka-aineiden määrät. Strategisten raaka-aineiden määrän laskennassa on oletettu, että paneelien tuottama teho on yhtä suuri kuin niiden huipputeho. Lisäksi laskennassa paneelien tehona on käytetty keskiarvollista, 300 Wp, tehoa. Raaka-ainelaskennassa on käytetty oletusta, että yhdessä aurinkojärjestelmässä on 90 paneelia. Käytössä olevien aurinkopaneelien materiaalmäärät eivät olleet tiedossa, joten laskennassa on käytetty kirjallisuudesta saatavilla olevaa materiaalitietoa.<sup>27</sup> Nämä oletukset luovat epätarkkuutta strategisten raaka-aineiden määrään paneeleissa. Tuotemäärät sisältävät vain Kaupunkiympäristön Tilat-palvelua (KYMP) hankintamäärät.

<sup>26</sup> S. Carrara, S. Bobba, D. Blagoeva, P. Alves Dias, A. Cavalli, K. Georgitzikis, M. Grohol, A. Itul, T. Kuzov, C. Latunussa, L. Lyons, G. Malano, T. Maury, Á Prior Arce, J. Somers, T. Telsnig, C. Veeh, D. Wittmer, C. Black, D. Pennington, M. Christou. Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study. JRC Science for Policy Report. The European Commission's science and knowledge service. 2023.

<sup>27</sup> <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/executive-summary> 7.11.2023

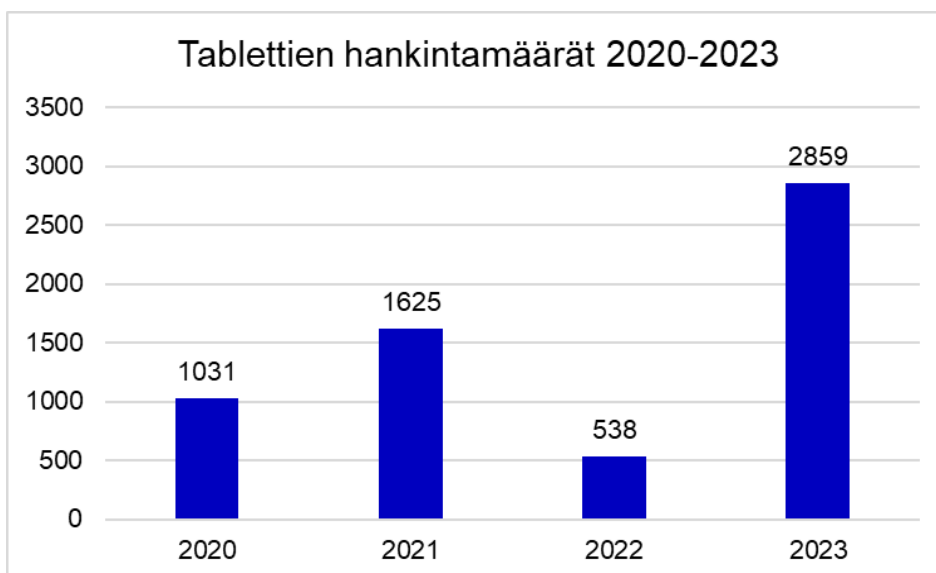
Taulukko 4. Helsingin kaupungin hankkimien aurinkopaneelien sisältämien strategisten raaka-aineiden määrät.

Raaka-aineet aurinkopaneeleissa 2019–2023 [kg]							
Raaka-aine	Per teho [kg/MW]	2019	2020	2021	2022	2023	Yhteensä
Kupari	2 822,1	381,0	457,2	304,8	609,6	609,6	2 362,1
Pii	3 948,3	533,0	639,6	426,4	852,8	852,8	3 304,7
Muut materiaalit	32	4,3	5,2	3,5	6,9	6,9	26,8

## ICT-laitteet

Kaupungin ICT-laittehankinnoista tarkasteltiin älypuhelimia, tabletteja ja tietokoneita. Muita käytössä olevia ICT-laitteita ovat esimerkiksi AV-laitteet, kuten projektorit ja näytöt sekä muita oheislaitteita, kuten latureita ja modeemeja. Näitä ei ole tarkasteltu tietojen haastavan saatavuuden sekä laitteiden ja niiden sisältämien raaka-aineiden sekä kierrätyksen monimuotoisuuden vuoksi. Lisäksi todettiin, että suurimmat tuotemäärät ja strategisten raaka-aineiden volyymit ovat puhelimissa, tableteissa ja tietokoneissa.

Selvityksessä on käytetty arvioituja hankintamääriä puhelimille ja tietokoneille. Puhelimia on hankittu ja hankitaan noin 6 000 kappaletta vuosittain ja tietokoneita noin 25 000 kappaletta. Tablettien osalta selvityksessä käytetyt hankintatiedot koskevat kasvatuksen ja koulutuksen toimialan opetuksen laitteiden hankintoja sekä DigiHelsingin Elinkaaripalveluiden laitehankintoja. Tableteista oli käytettävissä hankintamäärät vuosilta 2019–2023, jotka on esitetty alla olevassa kuvaajassa (Kuva 6). Tableteista suurin osa on Apple-merkkisiä, mutta myös joitain erimerkkisiä, Android-ohjelmistolla toimivia, laitteita on hankittu.



Kuva 6. Tablettien hankintamäärät 2020–2023.

ICT-laitteita hankitaan tasaisesti vuosittain ja uusilla hankinnoilla pääasiassa korvataan vanhoja käytöstä poistettavia laitteita. Laitteiden elinkaari kaupungin käytössä on noin neljä vuotta.

## **Puhelimet ja tabletit**

Älypuhelimet koostuvat useista erilaisista materiaaleista ja jopa 40–80 eri alkuaineesta. Älypuhelimien materiaaleista keskimäärin 45 % on metalleja, 32 % lasia, 17 % muovia ja 6 % muita materiaaleja.<sup>28</sup> Älypuhelinien tarkemmissa raaka-ainesisällöissä on huomattavaakin vaihtelua merkkien ja mallien välillä. Eniten matkapuhelimissa käytetty metalli on kupari, jota on jopa 15 % kaikista puhelimen materiaaleista. Muita metalleja ovat muun muassa tantaali, beryllium, kromi, nikkeli, sinkki, hopea, kulta ja kadmium. EU:ssa määritellyistä 16 strategisesta raaka-aineesta matkapuhelimet sisältävät suurinta osaa laitteesta riippuen.

Kuparin lisäksi toinen strateginen raaka-aine, jota käytetään puhelimissa ja tableteissa eniten, on piimetalli. Siru eli prosessori valmistetaan puhtaasta piistä ja sen lisäksi piitä käytetään myös muussa mikroelektronikassa. Pii ei itsessään johda sähköä, minkä vuoksi sen apuaineeksi lisätään esimerkiksi booria ja galliumia, jotka ovat niin ikään strategisia raaka-aineita. Galliumia käytetään myös näytön ja kameran valoissa sekä puolijohteissa.<sup>29</sup>

Harvinaisia maametalleja, yleensä neodyymia ja ceriumia, käytetään hyvin pieniä määriä mikrofoneissa, kaiuttimissa, kameroissa ja värinäyksiköissä. Muita harvinaisia maametalleja käytetään myös kovalevyissä, näytöissä, piirilevyissä ja muistitekniikassa. Kobolttia ja nikkeliä käytetään matkapuhelinten akuissa. Nikkeliä on alettu käyttämään akuissa erityisesti lyijyn korvaamiseen. Kobolttia käytetään myös kovalevyissä, puolijohteissa ja mikropiireissä. Kuparia käytetään piirilevyissä ja muissa mikrokomponenteissa sekä yleisenä johdemetallina. Mangaania käytetään akuissa ja muistintallennustekniikassa. Palladiumia, ja muita platinaryhmän metalleja, käytetään näytöissä, muistitekniikassa ja piirilevyissä.<sup>30, 31</sup>

Taulukossa (Taulukko 5) on esitetty strategisten raaka-aineiden määrät Helsingin kaupungin hankkimissa älypuhelimissa vuosittain ja yhteensä. Älypuhelinikohtaiset raaka-ainemäärät ovat useisiin lähteisiin perustuvia arvioita, eivätkä sellaisenaan minkään tietyn merkin tai mallin todellisia raaka-ainemääriä.<sup>32, 33, 34</sup>

---

<sup>28</sup> T. Eerola, P. Eilu, J. Hanski, S. Horn, J. Judl, M. Karhu, P. Kivikytö-Reponen, P. Lintinen & B. Långbacka. Digitalisaatio ja luonnonvarat. GTK:n tutkimustyöraportti 53/2021. Geologian tutkimuskeskus. 2021.

<sup>29</sup> T. Eerola, P. Eilu, J. Hanski, S. Horn, J. Judl, M. Karhu, P. Kivikytö-Reponen, P. Lintinen & B. Långbacka. Digitalisaatio ja luonnonvarat. GTK:n tutkimustyöraportti 53/2021. Geologian tutkimuskeskus. 2021.

<sup>30</sup> Y. Zhu, A. Eskola & E. Rännäli. Kriittiset Materiaalit Teknologiateollisuudessa. Teknologiateollisuus. 2022.

<sup>31</sup> T. Eerola, P. Eilu, J. Hanski, S. Horn, J. Judl, M. Karhu, P. Kivikytö-Reponen, P. Lintinen & B. Långbacka. Digitalisaatio ja luonnonvarat. GTK:n tutkimustyöraportti 53/2021. Geologian tutkimuskeskus. 2021.

<sup>32</sup> T. Eerola, P. Eilu, J. Hanski, S. Horn, J. Judl, M. Karhu, P. Kivikytö-Reponen, P. Lintinen & B. Långbacka. Digitalisaatio ja luonnonvarat. GTK:n tutkimustyöraportti 53/2021. Geologian tutkimuskeskus. 2021.

<sup>33</sup> <https://artosalonen.com/mista-on-kannykka-tehty/> 12.12.2023

<sup>34</sup> <https://www.engineering.com/story/what-raw-materials-are-used-to-make-hardware-in-computing-devices> 12.12.2023

Taulukko 5. Strategisten raaka-aineiden määrä Helsingin kaupungin hankkimissa älypuhelimissa.

Raaka-aineet älypuhelimissa 2020–2023			
Raaka-aine	Per älypuhelin [g]	Vuodessa, 6 000 älypuhelinia [kg]	Yhteensä 4 vuoden aikana [kg]
Harvinaiset maametallit	0,2	1,2	4,8
Koboltti	7	42	168
Kupari	10	60	240
Litium	4	24	96
Magnesium	5	30	120
Nikkeli	3	18	72
Pii	10	60	240
Platinaryhmän metallit	0,01	0,06	0,24
Titaani	0,5	3	12
Volframi	0,5	3	12

Tabletit ovat toiminnallisuuksiltaan ja ulkomuodoltaan kuin suurikokoisia älypuhelimia. Myös niihin käytettävät raaka-aineet ovat samoja, mutta määrät saattavat olla suurempia. Tässä selvityksessä on tarkasteltu tablettien raaka-aineita vastaavina kuin älypuhelimissa, mutta niiden määrää suurempina suhteessa laitteiden kokoon.

Taulukko 6) on esitetty strategisten raaka-aineiden määrät Helsingin kaupungin hankkimissa tableteissa vuosittain ja yhteensä. Suurimmat määrät ovat piitä, kuparia, kobolttia ja magnesiumia. Strategisten raaka-aineiden määrät perustuvat useisiin lähteisiin sekä asiantuntija-arviioon, eivätkä ne kuvaa minkään tietyn tabletin todellisia raaka-ainemääriä.<sup>35, 36, 37</sup>

<sup>35</sup> <https://artosalonen.com/mista-on-kannyykka-tehty/> 12.12.2023

<sup>36</sup> <https://www.engineering.com/story/what-raw-materials-are-used-to-make-hardware-in-computing-devices> 12.12.2023

<sup>37</sup> <https://h20195.www2.hp.com/v2/getpdf.aspx/c05117791.pdf> 12.12.2023

Taulukko 6. Strategisten raaka-aineiden määrä Helsingin kaupungin hankkimissa tableteissa vuosittain ja yhteensä.

Raaka-aineet tableteissa 2020–2023						
Raaka-aine	Per tabletti [g]	2020 [kg]	2021 [kg]	2022 [kg]	2023 [kg]	Yhteensä [kg]
Harvinaiset maametallit	0,56	0,57	0,90	0,49	1,64	3,6
Koboltti	19,44	20,05	31,60	17,08	57,32	126,05
Kupari	27,78	28,64	45,14	24,40	81,88	180,06
Litium	11,11	11,46	18,06	9,76	32,75	72,03
Magnesium	13,89	14,32	22,57	12,20	40,94	90,03
Nikkeli	8,33	8,59	13,54	7,32	24,56	54,01
Pii	27,78	28,64	45,14	24,40	81,88	180,06
Platinaryhmän metallit	0,03	0,03	0,05	0,02	0,08	0,18
Titaani	1,39	1,43	2,26	1,22	4,09	9
Volframi	1,39	1,43	2,26	1,22	4,09	9

## Tietokoneet

Tietokoneet voivat sisältää satoja eri raaka-aineita ja kymmeniä metalleja. Kannettavissa tietokoneissa käytetään hyvin paljon samoja raaka-aineita kuin älypuhelimissa, mutta määrien vaihtelut ovat huomattavia. Strategisista raaka-aineista esimerkiksi tietokoneiden grafiikkaprosessoreissa käytetään piitä, tantaalia ja palladiumia. Tallennustekniikkaan käytetään esimerkiksi kuparia, booria, kobolttia ja volframia. Kuparia käytetään myös laajalti yleisjohteena virran sekä lämmön siirtämiseen tehokkaasti. Magnesium on luja, mutta kevyt, metalli, jolla on hyvät ominaisuudet esimerkiksi tietokoneiden runkoihin sekä jäähdytysratkaisuihin. Vaikka laitteiden välillä on eroja, yleisiä käytettyjä raaka-aineita edellisten lisäksi on kulta, alumiini, sinkki, rauta ja nikkeli.<sup>38</sup>

Tietokoneissa piitä käytetään erityisesti tietokonesiruissa ja piirilevyissä, puolijohteissa sekä transistoreissa signaalien vahvistamiseen, kytkemiseen ja ohjaamiseen. Platinaryhmän metalleja käytetään erityisesti painetuissa piirilevyissä, näytöissä, levyasemissa, muistitekniikassa sekä keraamisissa kondensaattoreissa. Volframia käytetään mikropiirien

<sup>38</sup> <https://www.engineering.com/story/what-raw-materials-are-used-to-make-hardware-in-computing-devices>

lämmönkestävissä seoksissa, dielektrisissä materiaaleissa sähkövarauksen eristämiseen ja transistoreissa signaalien vahvistamiseen, kytkemiseen ja ohjaamiseen.<sup>39</sup>

Tässä selvityksessä käsitellään kaikki tietokoneet samanlaisina kannettavina tietokoneina, vaikka Helsingin kaupungin hankinnoissa on myös suurempia tehokannettavia ja pöytä tietokoneitakin (noin 1,5 % kaikista tietokoneista). Taulukossa (Taulukko 7) on esitetty strategisten raaka-aineiden määrät Helsingin kaupungin hankkimissa tietokoneissa vuosittain ja yhteensä. Suurimmat määrät ovat kuparia, magnesiumia ja piitä. Strategisten raaka-aineiden määrät perustuvat useisiin lähteisiin sekä asiantuntija-arvioon, eivätkä ne kuvaa minkään tietyn tietokoneen todellisia raaka-ainemääriä.<sup>40, 41, 42</sup>

Taulukko 7. Strategisten raaka-aineiden määrä Helsingin kaupungin hankkimissa tietokoneissa.

Raaka-aineet tietokoneissa 2020–2023			
Raaka-aine	Per tietokone [g]	Vuodessa, 25 000 tietokonetta [kg]	Yhteensä 4 vuoden aikana [kg]
Boori	1	25	100
Gallium	0,0016	0,04	0,16
Grafiitti	27	675	2 700
Harvinaiset maametallit	2,43	60,75	243
Koboltti	5	125	500
Kupari	270	6 750	27 000
Litium	52	1 300	5 200
Magnesium	227	5 675	22 700
Pii	165	4 125	16 500
Platinaryhmän metallit (platina, palladium, rutenium)	0,09	2,25	9
Volframi	3	75	300

## Lataus

Helsingin kaupungilla on parikymmentä sähköautojen latauspaikkaa kaupungin ajoneuvojen lataamista varten. Latausasemien elinkaari on arvioitu olevan 10–20 vuotta ja latausasemien määrän ennustetaan kasvavan tulevaisuudessa tukemaan sähköautojen määrän kasvua kaupungin autokannassa. Kaupungin ajoneuvoja käyttävät muun muassa sotepalvelut ja sähköautojen määrän kasvaessa autokannassa, latausasemat ovat kaupungin toiminnan varmistamisen kannalta tärkeitä.

Latausasemissa käytetään strategisista raaka-aineista muun muassa kuparia ja harvinaisia maametalleja. Latausasemissa kuparia käytetään johdoissa, sekä sähkökomponenteissa.

<sup>39</sup> T. Eerola, P. Eilu, J. Hanski, S. Horn, J. Judl, M. Karhu, P. Kivikytö-Reponen, P. Lintinen & B. Långbacka. Digitalisaatio ja luonnonvarat. GTK:n tutkimustyöraportti 53/2021. Geologian tutkimuskeskus. 2021.

<sup>40</sup> <https://circularcomputing.com/news/raw-materials-in-a-laptop/> 12.12.2023

<sup>41</sup> <https://h20195.www2.hp.com/v2/getpdf.aspx/c05117791.pdf> 12.12.2023

<sup>42</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X21003858> 12.12.2023

Harvinaisia maametalleja käytetään latausasemien tärkeissä komponenteissa, sähkömoottoreissa, sekä akuissa.<sup>43</sup>

## Lämpöpumput

Tässä tarkastelussa lämpöpumput käsittävät rakennusten lämmönsäätelyyn käytettävät ilmalämpöpumput, ilmavesilämpöpumput sekä maalämpöpumput. Helsingin kaupungilla lämpöpumppuja on asennettu kymmeniä viimeisen viiden vuoden aikana. Tällä hetkellä rakennuksiin lisätään noin 20–30 järjestelmää vuosittain, mutta määrän arvellaan lisääntyvän hieman tulevaisuudessa. Tarkempia merkkejä ja malleja hankituista lämpöpumpuista ei selvityksen tekohetkellä ollut tiedossa. Elinkaari lämpöpumpuilla kaupungin käytössä on noin 10–20 vuotta, maalämpöjärjestelmillä noin 50 vuotta.

Lämpöpumput valmistetaan pääasiassa muovista, metallista ja lasista. Niiden sisältämät raaka-aineet ja erityisesti niiden määrät voivat vaihdella suuresti riippuen lämpöpumpun koosta, tyypistä ja valmistajasta. Lämpöpumpuissa yleisesti käytettäviä strategisia raaka-aineita ovat nikkeli, molybdeeni ja magnesium, joita käytetään parantamaan mekaanisia ja korroosionkestäviä ominaisuuksia. Kuparia käytetään esimerkiksi termodynaamisten ominaisuuksien parantamiseen ja putkiin. Lisäksi lämpöpumpuissa käytetään kromia ja erityisesti maalämpöpumpuissa titaania.<sup>44</sup>

## Robottiikka

Robottiikka käsittää suuren määrän erilaista teknologiaa ja tarvittavia raaka-aineita. Tyypillisimmät robottiikassa käytettäviä strategisia raaka-aineita on yhdeksän. Booria ja neodyymiä käytetään neodyymi-rauta-boori kestomagneeteissa. Booria käytetään myös voiteluaineissa. Harvinaisista maametalleista magneeteissa käytetään myös praseodyymiä ja dysprosiumia. Galliumia käytetään viestintä-, sähkö-optiikka- ja virtajärjestelmiin. Kuparia käytetään laajalti langoissa tai akseleissa sekä korroosionkestävissä seoksissa. Mangaani on välttämätön raaka-aine terässeoksissa, joita käytetään monissa robotin osissa. Nikkeliä käytetään galvanointiin tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuihin kehyksiin, kiinnikkeisiin ja liittimiin. Titaanimetallia käytetään seoksissa ja lujassa rakenneteräksessä toimilaitteissa ja robottivarsissa.<sup>45</sup>

Helsingin kaupungin hankinnoissa robottiikkaa on lähinnä koulujen käyttämät opetus- ja lelurobotit sekä erilaiset etäopetusratkaisut. Tällä hetkellä käytössä olevat ja lähitulevaisuudessa hankittavat robottiikan tuotteet eivät ole kriittisiä toimintavarmuuden kannalta, ja niiden määrät ovat verrattain pieniä. Lisäksi tuotteet vaihtelevat paljon, eikä niiden sisältämiä raaka-aineita ole tiedossa.

<sup>43</sup> <https://www.linkedin.com/pulse/electric-vehicle-charging-station-raw-materials-market-challenges/> 15.12.2023

<sup>44</sup> <http://www.madehow.com/Volume-3/Heat-Pump.html>

<sup>45</sup> Y. Zhu, A. Eskola & E. Rännäli, Teknologiateollisuus, Kriittiset Materiaalit Teknologiateollisuudessa 2022

# Ajoneuvojen ja ICT-laitteiden käsittely

Osion tarkastelussa kuvataan tuotteiden ja komponenttien tämänhetkistä käsittelyä sekä millaisia ratkaisuja ja kehityshankkeita strategisten raaka-aineiden kierrättämiseen liittyen on meneillään. Lisäksi arvioidaan eri kierrätysratkaisujen kaupallista toteutettavuutta.

Selvityksessä päätettiin vaikuttavuusarvioinnin perusteella tarkastella ajoneuvojen ja ICT-laitteiden käsittelyä tarkemmin. Vaikuttavuusarvioinnissa kerättyjen tietojen lisäksi perusteluina valinnalle oli tuotteiden yleisyys ja tunnistettavuus, elinkaaren pituus, sekä toimintavarmuuteen vaikuttaminen.

## Ajoneuvot

Autot kuuluvat tuottajavastuun piiriin ja autojen maahantuojat ovat tuottajavastuussa henkilö-, paketti- ja matkailuautojen osalta.<sup>46</sup> Lisäksi sähköautojen ajovoima-akut kuuluvat tuottajavastuun piiriin.<sup>47</sup> Tuottajavastuu velvoittaa tuottajia huolehtimaan, että romutettavista ajoneuvoista vähintään 95 % valmistellaan joko uudelleenkäyttöön tai muulla tavoin hyödynnetään, jonka lisäksi 85 % romutettavista ajoneuvoista on valmisteltava joko uudelleenkäyttöön tai kierrätykseen.<sup>48</sup>

Helsingin kaupungin autokannasta poistuvien autojen käyttöikä ei pääty poistohetkeen, joten kaupunki ei vastaa niiden romuttamisesta, sillä auton romuttamisesta vastaa auton viimeinen omistaja<sup>49</sup>. Kaupungin käytöstä poistuttua ajoneuvot myydään eteenpäin. Ajoneuvojen käynnistysakkuja vaihdetaan niiden käyttöiän aikana, jolloin akkujen käsittelystä vastaa jätteenkäsittely-yritys. Raportin laatimishetkellä kaupungin toiminnoissa ei ole ollut tarpeen vaihtaa sähköautojen ajovoima-akkuja, mutta kaupungin prosessin mukaan ajovoima-akun vaihtaminen tapahtuu autojen maahantuojan toimesta.

## Ajoneuvojen ja ajovoima-akkujen kierrätysteknologiat

Käytöstä poistettujen autojen käsittelyprosessin esikäsittelyssä autoista poistetaan nesteet, renkaat, akut, sekä katalysaattorit, ja räjähdysvaaralliset osat tehdään vaarattomiksi tai yhtä lailla poistetaan. Sellaiset auton osat, jotka ovat hyväkuntoisia ja jotka voidaan ohjata uudelleenkäyttöön, poistetaan myös esikäsittelyn yhteydessä. Esikäsittelystä autot ohjataan murskaukseen, josta syntyy kolme eri jaetta: terästeollisuuden raaka-aineeksi menevä magneettinen teräs, metalliteollisuuden raaka-aineeksi ohjattavat muut metallit, sekä energiana pääosin hyödynnettävä kevytjäte.<sup>50</sup>

Sähköautoissa käytettävät ajovoima-akut pyritään uudelleen käyttämään alkuperäiseen käyttötarkoitukseen huoltamalla ja korjaamalla ne.<sup>51</sup> On myös esitetty, että käytöstä poistettuja akkuja käytettäisiin energiavarastoina<sup>52</sup>.

Kun ajovoima-akkuja ei voida enää kunnostaa tai sille ei ole muuta sopivaa uudelleenkäyttökohdetta, akku kierrätetään.<sup>53</sup> Suomessa ajovoima-akkujen kierrätystoimijoina ovat Fortum Waste Solutions Oy, Kuusakoski Oy ja Stena Recycling Oy<sup>54</sup>. Sähköautojen

<sup>46</sup> <https://www.ely-keskus.fi/web/tuottajavastuu/yritykselle> 24.11.2023

<sup>47</sup> <https://autokierratys.fi/tietoa-auton-kierratyksesta/kierratysjarjestelma/kierratyslainsaadanto/> 24.11.2023

<sup>48</sup> <https://www.ely-keskus.fi/web/tuottajavastuu/kierr%C3%A4tystavoitteet-ja-tulokset-autot> 24.11.2023

<sup>49</sup> <https://autokierratys.fi/kierratysohje/> 12.12.2023

<sup>50</sup> <https://autokierratys.fi/tietoa-auton-kierratyksesta/kierratysjarjestelma/romuajoneuvojen-kierratys/> 24.11.2023

<sup>51</sup> <https://autokierratys.fi/tietoa-auton-kierratyksesta/kierratysjarjestelma/sahkoauton-akkujen-kierratys/> 24.11.2023

<sup>52</sup> [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/sahkoautoillen\\_-\\_arjen\\_alykas\\_sahkoautoilu/ymparisto\\_ja\\_kierratys](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/sahkoautoillen_-_arjen_alykas_sahkoautoilu/ymparisto_ja_kierratys) 11.12.202

<sup>53</sup> <https://autokierratys.fi/tietoa-auton-kierratyksesta/kierratysjarjestelma/sahkoauton-akkujen-kierratys/> 24.11.2023

<sup>54</sup> [https://autokierratys.fi/kiertotalouden\\_arkea/nain-sahkoautojen-ajovoima-akut-kierratetaan/](https://autokierratys.fi/kiertotalouden_arkea/nain-sahkoautojen-ajovoima-akut-kierratetaan/) 12.12.2023



kierrättämisen prosessi on hyvin samanlainen kuin autojen kierrättämisen prosessi, mutta on huomioitavaa, että kaikkia akkuja ei olla suunniteltu puretaviksi, joten niiden työstäminen on työlästä<sup>55</sup>.

Akkujen kierrätyksen prosessin ensimmäinen vaihe on akun mekaaninen purkaminen, jonka jälkeen akkujen kennot mekaanisesti murskataan ja raaka-aineet erotellaan<sup>56</sup>. Erottelussa saadaan erilleen muoviset, ja metalliset osat, sekä elektrodimateriaali. Eroteltu elektrodimateriaali jatkokäsitellään mustan massan vapauttamiseksi.<sup>57</sup>

Eroteltu, hienojakoinen musta massa sisältää akun valmistuksessa käytettyjä metalleja. Akusta ja sen akkukemiasta riippuen mustan massan sisällöt vaihtelevat.<sup>58</sup>

Mustasta massasta metallien talteen ottamiselle on useita menetelmiä: pyrometallurgiset, hydrometallurgiset ja biometallurgiset menetelmät sekä suorakierrätys. Metallurgisissa menetelmissä materiaalin rakenne hajotetaan, jolloin saadaan metalleja, metallisuoloja ja lejeerinkejä. Suorakierrätyksessä materiaalin rakenne säilytetään ja se kierrätetään takaisin alkuperäiseen käyttöön, tai se voidaan jatkokäsitellä tarpeen vaatiessa. Pyrometallurgiset ja hydrometallurgiset menetelmät ovat teollisessa kierrätyksessä käytettävät pääasialliset kierrätysmenetelmät ja EU:n alueella näillä menetelmillä kierrätetään pääasiassa litiumioniakut.<sup>59</sup>

Fortumin akkujen kierrätysprosessi yhdistää mekaanisen murskauksen, sekä hydrometallurgisen prosessin. Litium-ioni akut ensin puretaan ja käsitellään mekaanisesti, jolloin niistä saadaan talteen muovit, alumiini, kupari, sekä musta massa. Musta massa käsitellään hydrometallurgisesti, jolloin harvinaiset mineraalit saadaan akun mustasta massasta talteen.<sup>60</sup>

Keskimäärin ajovoima-akuista kierrätetään vähintään 50 painoprosenttia<sup>61</sup> ja prosessin aikana niistä otetaan talteen muun muassa nikkeliä, kobolttia, mangaania ja litiumia<sup>62</sup>. Materiaali, jota ei voida kierrättää, poltetaan, jolloin tuhkasta otetaan talteen materiaaleja, jotka voidaan hyödyntää<sup>63</sup>. Talteen otetut materiaalit voidaan käyttää uudelleen<sup>64</sup>.

Haasteena kierrätyksen kattavuudelle ovat epävirallisia reittejä poistuvat, harmaalle markkinalle päätyvät autot. Näitä on arvioitu olevan Suomessa vuosittain noin 26 500 kappaletta. Nämä autot voivat päätyä laittomasti myydyksi ja puretavaksi joko kotimaassa tai ulkomaille, tai autot voidaan hylätä.<sup>65</sup>

## ***Kierrätyksen kaupallisuus ja tulevaisuus***

Elokuussa 2023 voimaan astunut EU:n akkuasetus asettaa tavoitteet kierrätettyjen akkujen sisältämien materiaalien talteenotolle, sekä kierrätettyjen materiaalien käyttöosuuksille. Akuista ja paristoista on vuoden 2027 loppuun mennessä otettava talteen 50 % litiumista, sekä 90 % kobolttista, kuparista, lyijystä ja nikkelistä. Lisäksi 8 vuotta akkuasetuksen voimaantulosta, kierrätettyjen materiaalien käyttöosuusvelvoite on litiumille ja nikkelille 6 %, koboltille 16 % ja lyijylle 85 %.<sup>66</sup>

---

<sup>55</sup> Asiantuntijahaastattelu, 5.12.2023

<sup>56</sup> [https://autokierratys.fi/kiertotalouden\\_arkea/nain-sahkoautojen-ajovoima-akut-kierratetaan/](https://autokierratys.fi/kiertotalouden_arkea/nain-sahkoautojen-ajovoima-akut-kierratetaan/) 11.12.2023

<sup>57</sup> E. Niittyviita. Käytettyjen akkujen hyödynnettävyys ja kierrättäminen, Osa 2. Sähköautojen ajovoima-akkujen kierrätysmenetelmät. Centria-ammattikorkeakoulu. 2021.

<sup>58</sup> <https://www.kriittisetmateriaalit.fi/mustan-massan-maailma/>, 2.1.2024

<sup>59</sup> E. Niittyviita. Käytettyjen akkujen hyödynnettävyys ja kierrättäminen, Osa 2. Sähköautojen ajovoima-akkujen kierrätysmenetelmät. Centria-ammattikorkeakoulu. 2021.

<sup>60</sup> <https://www.fortum.com/services/battery-recycling/lithium-ion-battery-recycling-technology> 13.12.2023

<sup>61</sup> <https://autokierratys.fi/tietoa-auton-kierratyksesta/kierratysjarjestelma/sahkoauton-akkujen-kierratys/> 24.11.2023

<sup>62</sup> [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/sahkoautoillen\\_-\\_arjen\\_alykas\\_sahkoautoilu/ymparisto\\_ja\\_kierratys](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/sahkoautoillen_-_arjen_alykas_sahkoautoilu/ymparisto_ja_kierratys) 11.12.2023

<sup>63</sup> <https://autokierratys.fi/tietoa-auton-kierratyksesta/kierratysjarjestelma/sahkoauton-akkujen-kierratys/> 24.11.2023

<sup>64</sup> [https://autokierratys.fi/kiertotalouden\\_arkea/nain-sahkoautojen-ajovoima-akut-kierratetaan/](https://autokierratys.fi/kiertotalouden_arkea/nain-sahkoautojen-ajovoima-akut-kierratetaan/) 11.12.2023

<sup>65</sup> M. Asano-Ulmonen. Sähköautojen moottorien purku ja kierrätys. Prizztech Oy. 2023.

<sup>66</sup> <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/eu-n-akkuasetus-astuu-tanaan-voimaan-pitkalla-aikavälillä-isoja-muutoksia-akkualalle> 13.12.2023

Kierrätettyjen materiaalien kysyntä on kasvussa kierrätettyjen materiaalien kiinnostaessa akkuvalmistajia niiden ilmastollisten ja eettisten näkökulmien vuoksi.<sup>67</sup> Suomessa elinkaarensa päähän tulleita sähköautojen akkuja ei ole vielä montaa, mutta todennäköistä on, että 5–10 vuoden päästä näitä on suurempi määrä. Akkujen kierrätyksen teknologia kehittyi yhteistyössä saatavilla olevien, kierrätettävien materiaalien kasvaessa.<sup>68</sup>

### **Uudenlaiset akkuteknologiat**

Valmistajat pyrkivät vähentämään riippuvuutta riskimateriaaleista, kuten koboltista, ja kehittävät uudenlaisia akkuteknologioita. Yleisimmin sähköautoissa käytettävän Li-NMC kohdalla, auton valmistajat pyrkivät pienentämään akussa tarvittavan koboltin osuutta. Lisäksi kehitteillä on ollut koboltittomia akkuja, kuten esimerkiksi litiumrautafosfaatti (LFP) ja litiummangaanioksidisi (LMO).<sup>69</sup>

Kehitteillä on myös natriumioniakkuteknologia, jossa litiumin sijaan akussa käytetään natriumia. Kerrostuneet metallisoksidit (esimerkiksi mangaani, nikkeli, kromi, rauta, titaani ja koboltti), sekä polyaniset yhdisteet (sulfaatti, fosfaatti ja prylofosfaatti) ovat natriumioniakuissa potentiaalisia katodimateriaaleja. Natriumioniakuissa tutkittuja anodimateriaaleja ovat olleet viime vuosina kovat hiilet, litiumioniakuissa käytettävä grafiitti ei sovellu käytettäväksi natriumioniakuissa.<sup>70</sup>

### **ICT-laitteet (älypuhelimet, tietokoneet)**

Yhteen älypuhelimeen tai tietokoneeseen tarvitaan kymmeniä mineraaleja ja metalleja, mutta useita niistä hyvin pieniä määriä, mikä hankaloittaa niiden kierrätystä ja uudelleenkäyttöä. Strategisten raaka-aineiden talteenoton ja hyödyntämisen kannalta tulisi keskittyä tiettyjen komponenttien käsittelyyn, sillä esimerkiksi älypuhelimissa piirilevy sisältää 98 % kuparista ja 99 % palladiumista. Lisäksi esimerkiksi puhelinten magneeteissa, joita käytetään muun muassa mikrofoneissa, kameroissa ja kaiuttimissa, on 96 % laitteen harvinaisista maametalleista ja 40 % galliumista.<sup>71</sup>

Tavanomaisempien metallien, kuten alumiinin ja kuparin, kierrätys ja uusiokäyttö on helpompaa ja yleisempää kuin strategisten raaka-aineiden. Yksi syy siihen on SER-romun keräystavoitteet, jotka ovat massapohjaisia, eikä niissä huomioida raaka-aineen kriittisyyttä tai taloudellista arvoa. Siksi kriittisiä ja arvometalleja menetetään tarpeettomasti kierrätyksen aikana. Harvinaisista maametalleista vain 1 % kierrätetään, ja 35 metallin kierrätysaste on alle 1 %.<sup>72</sup>

Tällä hetkellä käytössä olevia laitteita ei lähtökohtaisesti ole suunniteltu kierrätyksen ja metallurgian näkökulmasta, mikä aiheuttaa kierrätysteknologioille haasteita.<sup>73</sup> ICT-laitteista saadaan talteen materiaaleja ja strategisia raaka-aineita, mutta niiden puhtaus ei välttämättä riitä uusien tuotteiden valmistamiseen, jolloin niitä käytetään hyväksi muussa teollisuudessa esimerkiksi seosmetalleissa.

Useiden ICT-alkuaineiden kierrätysastetta ei tiedetä, minkä takia kierrätys ei ainakaan tällä hetkellä voi korvata primäärituotantoa.<sup>74</sup> Sen lisäksi vielä toistaiseksi neitseellisiä raaka-aineita on ollut saatavilla, joten se osaltaan ei ole ajanut kehittämään parempia kierrätys- ja hyödyntämisteknologioita. Tulevaisuudessa raaka-ainevarojen ehtyminen ja heikompi saatavuus ohjaavat kehittämään ja ottamaan käyttöön uusiakin menetelmiä raaka-aineiden uusiokäyttöön.

<sup>67</sup> [https://autokierratys.fi/kiertotalouden\\_arkea/nain-sahkoautojen-ajovoima-akut-kierratetaan/](https://autokierratys.fi/kiertotalouden_arkea/nain-sahkoautojen-ajovoima-akut-kierratetaan/) 11.12.2023

<sup>68</sup> Asiantuntijahaastattelu, 5.12.2023

<sup>69</sup> <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/syyta-optimismiin-sahkoautojen-akkujen-tulevaisuus-vasta-alussa> 14.12.2023

<sup>70</sup> P. Kalliotiura. Litiumioniakut ja vaihtoehtoiset akkuteknologiat. Kandidaatintyö. Tampereen yliopisto. 2021

<sup>71</sup> T. Eerola, P. Eilu, J. Hanski, S. Horn, J. Judl, M. Karhu, P. Kivikytö-Reponen, P. Lintinen & B. Långbacka. Digitalisaatio ja luonnonvarat. GTK:n tutkimustyöraportti 53/2021. Geologian tutkimuskeskus. 2021.

<sup>72</sup> T. Eerola, P. Eilu, J. Hanski, S. Horn, J. Judl, M. Karhu, P. Kivikytö-Reponen, P. Lintinen & B. Långbacka. Digitalisaatio ja luonnonvarat. GTK:n tutkimustyöraportti 53/2021. Geologian tutkimuskeskus. 2021.

<sup>73</sup> T. Eerola, P. Eilu, J. Hanski, S. Horn, J. Judl, M. Karhu, P. Kivikytö-Reponen, P. Lintinen & B. Långbacka. Digitalisaatio ja luonnonvarat. GTK:n tutkimustyöraportti 53/2021. Geologian tutkimuskeskus. 2021.

<sup>74</sup> T. Eerola, P. Eilu, J. Hanski, S. Horn, J. Judl, M. Karhu, P. Kivikytö-Reponen, P. Lintinen & B. Långbacka. Digitalisaatio ja luonnonvarat. GTK:n tutkimustyöraportti 53/2021. Geologian tutkimuskeskus. 2021.

Myös yleinen vastuullisuusajattelu ajaa yrityksiä kestävyteen ja tehokkaampaan materiaalien käyttöön. Monet elektroniikkavalmistajat ovat ottaneet käyttöön vastuullisuusohjelmia, jotka korostavat ympäristöystävällisiä käytäntöjä, kierrätystä ja kriittisten materiaalien tehokasta käyttöä. Esimerkiksi vuonna 2022 Apple laajensi merkittävästi kierrätettyjen metallien käyttöä, ja nyt lähes 75 % kaikista harvinaisista maametalleista ja yli 95 % kaikesta volframista Apple-tuotteissa tulee kierrätetystä materiaalista. Lisäksi vuoteen 2025 mennessä Apple-laitteiden magneetit käyttävät täysin kierrätettyjä harvinaisia maametalleja.<sup>75</sup>

Suomessa elektroniikkajätteen kierrätys ja käsittely on valtakunnallisesti järjestetty, mutta metallien talteenottoon ei ole olemassa vielä viimeisteltyä kokonaisprosessia tai kaupallisia toimijoita. Ennen kuin strategisten raaka-aineiden talteenottoon voidaan keskittyä, materiaali vaatii lajittelua ja kullekin jakeelle soveltuvaa esikäsittelyä.

Helsingin kaupungin ICT-laitteita uusiokäytetään omissa toiminnoissa. Kun laite käy tarpeettomaksi, se annetaan käyttöön eteenpäin, mikäli se on toimintakuntoinen. Osa huollon tarpeessa olevista laitteista huolletaan kaupungin omilla Uusix-verstailla. Laitteet, joita ei enää haluta käyttää toimimattomuuden tai käyttöiän vuoksi, toimitetaan sopimustoimittajalle. Sopimustoimittaja vie laitteet tietoturvalliseen ja ympäristöystävälliseen kierrätykseen. Selvitystä tehdessä ei ollut tiedossa, mitä ympäristöystävälliseksi mainittu kierrätys pitää sisällään, mutta ainakin opetuksen laitteiden osalta on sovittu, että poistoon menevien laitteiden toimivia osia ja komponentteja voi hyödyntää huollettavissa laitemalleissa, joihin ei muuten enää ole varaosia saatavilla.

### **ICT-laitteiden kierrätysteknologiat**

ICT-laitteiden kierrätykseen on olemassa useita teknologioita. Ensimmäinen, jo yli sata vuotta vanha menetelmä on pyrometallurginen prosessi, jossa elektroniikkajätteet poltetaan ja sulatetaan. Prosessin eri vaiheissa metallit erotetaan myös kemiallisesti toisistaan. Viime vuosikymmeninä on tehty tutkimusta hydrometallurgisista prosesseista, joissa sähkö- ja elektroniikkajätteestä otetaan talteen arvokkaat sekä muut mahdolliset metallit. Hydrometallurgisiin prosesseihin kuuluu erilaiset uutot. Näiden lisäksi on kehitetty ja hyödynnetty monimuotoista bioteknologiaa ja sovellettu biouuttoa arvokkaiden metallien ja kuparin liuottamiseksi malmeista ja elektroniikkajätteestä jo monia vuosia. Käsittelyprosesseihin voidaan myös yhdistää sähkömetallurginen, sähkökemiallinen tai elektrolyysiprosessi metallien erotukseen ja talteenottoon.<sup>76</sup>

Tehokkaimmin SER:stä pystytään hyödyntämään nykyaikaisen tietokoneen materiaalit, joista jopa 99 % voidaan kierrättää teollisuuden uudelleen käytettäväksi.<sup>77</sup> Esimerkiksi tietokoneen kaapelit granuloidaan ja niistä saadaan teollisuudelle kuparimateriaalia uusiokäyttöön. Kuparisulattamossa käytetään piirikortin aihion lämpöarvo hyväksi ja pyroteknisessä prosessissa jalometallien erottelu elektrolyytisesti onnistuu lähes sataprosenttisesti. Piirikortista saadaan pääosin eroteltua kupari, hopea, tina, kulta, rodium ja palladium. Laitteen muovikuori granuloidaan ja muovi saadaan uusiokäytettyä teollisuuden raaka-aineena.<sup>78</sup>

Älypuhelimienkin materiaaleista saadaan jopa 95 % hyödynnettyä uudelleen käyttöön. Hukkalähteitä on kaikissa prosessien vaiheissa.

### **Mekaaniset menetelmät**

Murskaus on lajittelun jälkeen ensimmäinen mekaaninen prosessivaihe ICT-laitteiden käsittelyssä. ICT-laitteissa on useita hyvin pieniäkin komponentteja, joten murskaus on nopea ja tehokas keino erotella osia ja raaka-aineita toisistaan. Murskauksessa syntyy myös hukkaa, eikä kaikkea arvokastakaan materiaalia saada talteen. ICT-laitteita voidaan käsitellä manuaalisesti myös ennen murskausta. Tällöin laitteesta irrotetaan osat erilleen käsin ja työkalujen avulla. Manuaalinen osien irrotus on hidasta, mutta silloin saadaan osat ehjempänä jatkokäsittelyyn eikä materiaalihukkaa synny samalla tavalla kuin suoraan murskaamisessa.

<sup>75</sup> <https://www.apple.com/au/newsroom/2023/04/apple-will-use-100-percent-recycled-cobalt-in-batteries-by-2025/> 11.12.2023

<sup>76</sup> J. Riippa. Arvokkaiden metallien talteenotto elektroniikkajätteestä 3D-tulostetuilla kappaleilla. Diplomityö. LUT yliopisto. 2019.

<sup>77</sup> <https://serkierratys.fi/fi/kuluttajille/mitae-keräytyille-laitteille-tapahtuu> 11.12.2023

<sup>78</sup> K. Mäkinen. Kannettavan tietokoneen kierrättäminen. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu. 2015.

Joidenkin komponenttien, kuten kestopagneettien, osalta manuaalinen käsittely on merkityksellistä, sillä niiden kierrätys on teknisesti mahdollista, kunhan ne on eroteltu kokonaisuena kierrätyksen varhaisessa vaiheessa. Jos magneetteja ei eroteta käsittelyprosessin alussa, ne päätyvät rauta- ja teräsjakeeseen ja niiden sisältämiä kriittisiä raaka-aineita ei välttämättä saada erotettua.<sup>79</sup>

Murskauksen jälkeen erotellaan eri raaka-aineet. Erottelu tehdään esimerkiksi magneeteilla, painon perusteella, röntgensäteellä, hahmotunnistuksella tai upotus-kellutus-menetelmällä, jossa esimerkiksi kevyt alumiini saadaan kellumaan ja voidaan siten erottaa muista metalleista.<sup>80</sup>

Metalleista saadaan erotteluprosessien avulla erotettua muun muassa rauta, alumiini, magnesium, kupari, sinkki ja ruostumaton teräs. Piirilevyistä metallit erotetaan yleensä kemiallisesti. Sellaisenaan uudelleen hyödynnettäviä osia voivat olla piirikortit, kovalevyt ja liittimet. Laitteista erotetut metallit, muovi ja lasi hyödynnetään pääasiassa Suomessa.<sup>81</sup>

### **Pyrometallurgiset menetelmät**

Jalometallien erotus tehdään yleisimmin sulatusprosessilla eli pyrometallurgisilla menetelmillä. Myös perinteiset romumetallit ja nikkeli kierrätetään sulattamalla. Perinteisesti kuparisulaton yhteydessä toimii myös jalometalliosasto, joka ottaa talteen arvometalleja prosessin kuonasta ja sakasta.

Piirilevyjakeen kierrätystä on kehitetty ja se on tällä hetkellä taloudellisesti kannattavaa romun sisältämien arvometallien ansiosta. Tunnettuja pyrometallurgisia prosesseja ICT-laitteiden sisältämien eri metallien talteen ottamiseksi maailmalla ovat muun muassa Noranda process kuparin talteenottoon sekä Kaldo process nikkelin talteenottoon. Erityisesti piirilevyjakeen käsittelyprosessi on tyypillisesti kytkeytynyt erillisprosessina kuparisulaton yhteyteen.<sup>82</sup>

Kuparisulatoissa saadaan otettua talteen myös jalometalleja kuten kultaa, palladiumia, hopeaa ja kuparia. Sähkö- ja elektroniikkaromussa olevia harvinaisia maametalleja ei tällä hetkellä juurikaan oteta talteen, koska määrät ovat komponenteissa pieniä ja ne pitäisi irrottaa kemiallisesti.<sup>83</sup>

Suomessa esimerkiksi Kuusakoski Oy murskaa ja erottelee kuparipitoisen jätteen mekaanisesti, mutta ei saa jätteestä arvometalleja talteen. Erotellut jakeet lähetetään Ruotsiin pyrometallurgiseen prosessiin, jossa menetetään osa arvokkaista metalleista. Elektroniikkaromu, erityisesti piirilevyt, voidaan polttaa, jonka jälkeen tuhka liuotetaan. Suuri osa metalleista saadaan liuotettua happokylvyissä ilman polttamista. Tällöin arvokkaita metalleja ei häviä. Liuokseen jää kuitenkin metalleja, jotka on vaikea saada talteen.<sup>84</sup>

### **Hydrometallurgiset menetelmät**

Hydrometallurgiset menetelmät ovat erityisen sopivia monimutkaisten ja metallipitoisuuksiltaan köyhien elektroniikkajätteiden käsittelyyn. Neste-neste-uutto ja ioninvaihto ovat tärkeimmät tutkitut hydrometallurgiset menetelmät. Neste-neste-uutto on metallurgiassa yleinen yksikköprosessi kaikenlaisten metallien tuotannossa. Liuottaminen esimerkiksi hapoilla tai muilla kemikaaleilla on osa neste-neste-uuttoa. Ioninvaihdon käyttö metallurgisessa teollisuudessa ei ole vielä niin laajamittaista, mutta sitä on tutkittu paljon ja sen tiedetään olevan erityisen sopiva sekä laimeille että monimutkaisille syöttöliuoksille. Elektrolyysi on myös ioneihin perustuva menetelmä, jossa käytetään sähkövirtaa erottamaan metallit liuoksesta. Se vaatii tarkkaa valvontaa ja erikoislaitteita, ja se on tehokas erityisesti kuparin, nikkelin ja kullan

<sup>79</sup> M. Asano-Ulmonen & M. Haavisto. Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu (SER) ja sen kierrätysmahdollisuudet Satakunnassa. Prizztech Oy. 2020.

<sup>80</sup> <https://serkierratys.fi/fi/kuluttajille/mitae-keraytyille-laitteille-tapahtuu> 12.12.2023

<sup>81</sup> <https://serty.fi/yriyksille/se-romun-kasittely/> 12.12.2023

<sup>82</sup> M. Asano-Ulmonen & M. Haavisto. Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu (SER) ja sen kierrätysmahdollisuudet Satakunnassa. Prizztech Oy. 2020.

<sup>83</sup> <https://circhubs.fi/tietopankki/sahko-ja-elektroniikkaromu-ser/> 12.12.2023

<sup>84</sup> <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/metalli-talteen-elektroniikkaromusta-suomen-ser-kierratyskoelaitoshanke-etenee/b2be66c4-57bc-42cc-81ab-da1adace688b> 12.12.2023

talteenotossa. Hydrometallurgiset menetelmät ovat vähäpäästöisempiä ja kuluttavat vähemmän energiaa verrattuna pyrometallurgisiin menetelmiin.<sup>85</sup>

### **Kierrätyksen kaupallisuus ja tulevaisuus Suomessa**

Eri käsittelymenetelmien kannattavuus taloudellisesta näkökulmasta riippuu prosessista ja talteen otettavista raaka-aineista ja niiden määrästä. Mekaaniset erotusmenetelmät ovat tehokkaimpia suurten metallipitoisuuksien käsittelyssä, mutta ne voivat olla kalliita ja vaativia suurissa mittakaavoissa. Liuotinpohjaiset menetelmät voivat olla tehokkaita kriittisten metallien talteenotossa, mutta niiden soveltuvuus voi vaihdella metallikohtaisesti, ja liuottimet voivat olla kalliita. Elektrolyysi voi olla tehokas menetelmä, mutta se on energiantensiivinen ja vaatii tarkkaa valvontaa. Ionienvaihdon soveltuvuus ja tehokkuus vaihtelee metallin mukaan, ja se voi olla altis kyllästymiselle.

Uudet innovaatiot ja pilottihankkeet saattavat tuoda esiin tehokkaampia menetelmiä, mutta niiden kaupallinen käytettävyys vaatii lisätutkimuksia ja testausta.

Kaupallisen potentiaalin arvioimiseksi on tärkeää ottaa huomioon tekniikan tehokkuus, kustannukset, ympäristövaikutukset, lainsäädännölliset näkökohdat ja markkinatarpeet. Monet näistä menetelmistä voivat olla osa laajempaa kierrätysinfrastruktuuria, ja niiden soveltuvuus voi vaihdella alueittain ja materiaaleittain.

### **Biometallurgiset prosessit**

Biometallurgiset prosessit ovat biologisia tai mikrobiologisia menetelmiä, joita käytetään metallien erottamiseen ja talteenottoon mineraaleista tai muista materiaaleista. Vaikka biometallurgisia prosesseja ei ole vielä täysin integroitu elektroniikkaromun kierrätykseen, niitä voidaan potentiaalisesti hyödyntää tulevaisuudessa. Joitakin mahdollisia sovelluskohteita biometallurgisille prosesseille elektroniikkaromun kierrätyksessä voivat olla:

- Bakteerien käyttö metallien uuttamiseen: Tietyt bakteerit pystyvät erottamaan metalleja elektroniikkajätteestä. Esimerkiksi biomodifioidut bakteerit voivat tuottaa aineita, jotka liuottavat metallit, mikä helpottaa niiden erottamista elektroniikkajätteestä.
- Biomassan käyttö metallien imeyttämiseen: Joissakin tapauksissa mikro-organismeja tai biomateriaaleja voidaan käyttää metallien sitomiseen tai imeyttämiseen elektroniikkajätteestä. Näitä biomassamateriaaleja voidaan käyttää jalometallien talteenotossa.
- Biologiset liuokset metallien liuottamiseen: Mikrobit voivat erittää liuottimia, kuten happoja, jotka kykenevät liuottamaan metallit elektroniikkajätteestä.

Biometallurgisten prosessien käyttö elektroniikkaromun kierrätyksessä ei ole vielä laajasti käytössä, ja niiden kehittäminen ja soveltaminen vaatii lisää tutkimusta ja kehitystä.

Biometallurgisia menetelmiä pidetään kuitenkin lupaavina erityisesti, kun metallien pitoisuudet ovat pienet.<sup>86</sup>

### **Hydrometallurgiset prosessit**

Piirilevyjen käsittelyyn ja sen raaka-aineiden hyödyntämiseen kehitetään hydrometallurgisia prosesseja, ja tavoitteena on saada täyden mittakaavan tuotantolaitos Suomeen. Esimerkiksi Jyväskylän yliopistolla kehitetty hydrometallurginen koelaitteisto soveltuu jalometallien ja harvinaisten metallien talteenottoon. Talteen otettavia metalleja ovat esimerkiksi harvinaiset maametallit kuten kestopagneeteissa hyödynnettävät neodyymi ja praseodyymi, platinaryhmän metalleihin kuuluva palladium sekä puolijohteissa käytetty germanium. Hydrometallurginen laitteisto toimii kuuden litran mittakaavassa.

<sup>85</sup> M. Asano-Ulmonen & M. Haavisto. Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu (SER) ja sen kierrätysmahdollisuudet Satakunnassa. Prizztech Oy. 2020.

<sup>86</sup> M. Asano-Ulmonen & M. Haavisto. Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu (SER) ja sen kierrätysmahdollisuudet Satakunnassa. Prizztech Oy. 2020.

Hydrometallurgisen laitteiston toiminta perustuu happoliuotuksiin ja erilaisten metallien talteenottotekniikoiden kytkemiseen toisiinsa yhdeksi kokonaisuudeksi.

Jyväskylän yliopistolle tuleva jätemassa on murskattuja ja poltettuja piirilevyjä. Polttamalla elektroniikkajätteestä on saatu poistettua esimerkiksi muovit ja hartsit. Kun jätejäte on siirretty reaktoreihin, siihen sekoitetaan vaiheittain erilaisia happoja. Metallit liukenevat happoon, jonka jälkeen liuksesta poistetaan kiintoaines. Seuraavaksi liuos kulkee eri uuttovaiheiden kautta ja valutetaan lopuksi kemiallisen siepparin läpi tai johdetaan elektrolyysilaitteistoon. Prosessi on suunniteltu siten, että eri vaiheissa pystytään eristämään liuksesta tietyt metallit.

Prosessissa syntyy jätettä, josta osa toimitetaan hävitettäväksi tavallisena kemikaalijätteenä ja pieni osa vaarallisena jätteenä. Suurin osa jätteistä neutraloidaan ja tehdään vaarattomiksi prosessin aikana. Uuden talteenotto-prosessin yhtenä vahvuutena on se, että prosessin sisäiset virrat voidaan tehokkaasti sulkea happoja kierrättämällä.<sup>87</sup>

---

<sup>87</sup> <https://jyunity.fi/tieteessa/tie-auki-tehtaisiin-piirilevyista-huuhdotaan-arvometallit-talteen-uuuella-laitteistolla/>

# Strategisten raaka-aineiden kiertotalouden edistäminen

Helsingin kaupungin edustajien kanssa järjestettiin työkokous, jossa keskusteltiin keinoista edistää strategisten raaka-aineiden kiertotaloutta kaupungin toiminnoissa. Keskusteluissa nousi esiin useita ehdotuksia, joista monien avulla voidaan edistää myös muiden materiaalien kuin strategisten raaka-aineiden kiertotaloutta. Tässä luvussa käsitellään kokouksessa keskustellut keinot sekä Rambollin ehdotukset siitä, miten Helsingin kaupunki voisi omissa hankinnoissaan edistää strategisten raaka-aineiden kiertotaloutta.

## Tuotteiden valinta ja valintakriteerit

Hankintoja tehdessä tuotteiden valinnalla voi olla merkitystä kiertotalouden toteutumiseen tuotteen elinkaaren eri vaiheissa. Mahdollisuuksien mukaan kaupungin hankinnoissa voisi suosia tuotteita, joiden valmistukseen on käytetty kierrätysmateriaaleja, erityisesti strategisten raaka-aineiden osalta. Strategisten raaka-aineiden kierrätys ja uusiokäyttö kuluttajatuotteissa on vielä melko vähäistä, mutta se tulee yleistymään.

Hankinnoissa voisi huomioida myös tuoteperheet ja samankaltaiset tuotteet siten, että niistä voidaan saada hyötyjä esimerkiksi yhteensopivuuden ja varaosien saatavuuden osalta.

Elinkaarihallinta kannattaa myös ottaa huomioon hankintoja suunnitellessa. Raaka-ainesisällön lisäksi voi pyrkiä suosimaan tuotteita, joilla on pitkä elinkaari ja jotka ovat korjattavissa. Tuotteiden korjaaminen voi joissain tilanteissa olla myös kustannustehokasta, mikäli korjaaminen on edullisempaa kuin uuden hankkiminen.

## Hankintapolitiikat ja -ohjeet

Työkokouksen aikana yhdeksi ehdotetuksi edistämiskeinoksi nostettiin esiin hankintapolitiikkojen ja -ohjeiden laatiminen. Poliitiikat ja ohjeet toimisivat työkaluina määrittämään vaatimuksia ja kriteereitä hankintojen tekemiselle, määrittämään tuotteiden käyttöiän sekä optimoimaan hankintoihin liittyviä prosesseja. Helsingin kaupungin toimialoilla on laitepolitiikka, joka ohjaa muun muassa uuden laitehankinnan tilanteita, hankittavan laitteen tyyppiä, sekä käyttäjien hallinnassa olevien laitteiden määrää eri työtehtävissä. Laittepolitiikka on tunnistettu tärkeäksi välineeksi.

Hankintapolitiikkojen ja -ohjeiden kautta voidaan ohjata sellaisten tuotteiden hankintaan, jotka kaupunki katsoo täyttävän sen määrittämät kriteerit. Lisäksi nämä ovat työkaluja, joiden avulla voidaan ohjata tuotteille, kuten puhelimille ja tietokoneille, niiden tavoitteellinen käyttöikä. Poliitiikkojen avulla voidaan laatia suuntaviivat sille, miten usein uusia tuotteita tilataan ja samalla mahdollisesti vähennettäisiin strategisia raaka-aineita sisältävien tuotteiden hankintavolyymejä. Poliitiikkojen ja ohjeiden avulla voidaan myös laatia suuntaviivat sille, milloin jokin rikkiäinen tuote huolletaan ja milloin sen tilalle olisi tarpeen tilata uusi laite.

Tuotteen tullessa käyttöiän päähän ohjeiden avulla käyttäjät voidaan ohjeistaa siihen, kuinka käytöstä poistetut tai tarpeettomat tuotteet tulee laittaa kiertoon, saaden nämä tuotteet osaksi kiertotalousprosessia tai uuteen käyttökohteeseen. Kun tuotteet saadaan osaksi kierrätysprosessia, ne voidaan ohjata sopiviin kierrätyspaikkoihin, ja arvokkaita raaka-aineita saadaan talteen. Yhteinen käytöstä poistettujen tuotteiden varasto edistäisi myös mahdollisuutta sille, että saadaan talteen varaosia, joita voi hyödyntää rikkiäisten tuotteiden korjaamiseen. Toiminta voitaisiin tehdä keskitetysti kaupungin omissa toiminnoissa, tai mahdollisen palveluntarjoajan avulla, mikäli tunnistetaan myös muita toimijoita, jotka pyrkivät samaan tavoitteeseen.

Politiikkojen ja ohjeiden avulla voidaan myös edistää hankintaprosessien optimointia, erityisesti tuotteiden oikea-aikaista ja -määräistä hankintaa. Näin kaupunki saa juuri oikean määrän tuotteita ja vältetään ylimääräisen tavaran kertyminen varastoihin. Yksi vaihtoehto on kehittää inventaarion hallitsemiseksi järjestelmä, jonka avulla seurataan kaupungin hallussa olevia tuotteita, sekä niiden sisältämien strategisten raaka-aineiden määrää. Inventaarion kartoittaminen ja seuraaminen auttaa kaupunkia ymmärtämään omaa tilannettaan strategisten raaka-aineiden suhteen ja luo pohjaa kehittää prosesseja kiertotalouden edistämisen ympärille. Yhtenäisessä järjestelmässä on lisäksi hyötynä, että sen avulla voidaan seurata, minne tuotteet ja raaka-aineet käytön jälkeen päätyvät.

Tiedon kasvattaminen kierrätyksen osalta hankintoja tekevien kanssa on keino jalkauttaa politiikat ja ohjeet. Kouluttamisen kautta saadaan levitettyä tietoa siitä, miksi aiheeseen keskitytään ja mikä sen merkitys on lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Samalla tämä voi auttaa sitoutumaan yhteiseen tavoitteeseen.

## Markkinavuoropuhelut

Markkinavuoropuhelun toteuttaminen osana strategisten raaka-aineiden kiertotalousmahdollisuuksien selvittämistä on hyvä keino kartoittaa markkinoiden tilannetta tällä hetkellä sekä mitä mahdollisuuksia markkinalla voisi olla tulevaisuudessa. Lisäksi markkinavuoropuhelun avulla Helsingin kaupunki voi viestiä ulospäin omista tavoitteistaan ja tahtotilastaan. Helsinki on suuri toimija ja tavoitteista ja tahdosta viestiminen voi ohjata markkinoiden kehitystä. Markkinavuoropuhelusta saatavia hyötyjä kiertotalouden kannalta on useita.

Markkinavuoropuhelussa voi pyytää toimittajilta tietoa kiertotalouteen liittyvistä innovaatioista, parhaista käytännöistä ja teknologioista strategisten raaka-aineiden käsittelyssä sekä saada arvokasta tietoa siitä, miten eri toimittajat lähestyvät kiertotaloutta ja mitä resursseja heillä on sen tukemiseksi. Näin kaupunki saa kerättyä ja analysoitua kiertotalouteen liittyvää tietoa.

Markkinavuoropuhelun avulla voi tunnistaa toimittajia ja yhteistyökumppaneita, jotka ovat sitoutuneet kiertotalouteen ja voivat tarjota kestäviä ratkaisuja raaka-aineiden kierrätykseen. Samalla voidaan myös arvioida toimittajien kokemusta ja asiantuntemusta kiertotalousprosesseista.

Keskustelut toimittajien kanssa voivat tuoda esiin uusia innovaatioita ja mahdollisuuksia tai tekniikoita, jotka voivat parantaa raaka-aineiden kierrätystä, ja samalla on mahdollisuus tutustua uusiin liiketoimintamalleihin, jotka liittyvät raaka-aineiden kiertotalouteen. Markkinavuoropuhelu antaa mahdollisuuden keskustella toimittajien kanssa myös mahdollisista riskeistä ja haasteista, jotka voivat liittyä kiertotalouden toteuttamiseen, sekä saada tietoa siitä, miten toimittajat ovat kohdanneet ja ratkaisseet vastaavia haasteita aiemmissa projekteissa.

Markkinavuoropuhelut ovat myös tilaisuus luoda suhteita toimittajiin ja potentiaalisiin kumppaneihin. Keskustelut voivat johtaa pitkäaikaiseen yhteistyöhön, joka on keskeinen osa onnistunutta raaka-aineiden kiertotalousstrategiaa.

Kerätty tieto markkinavuoropuhelusta auttaa muokkaamaan hankintojen tarjouspyyntöjä niin, että ne kuvastavat paremmin tarpeita ja odotuksia kiertotalouden suhteen. Markkinavuoropuhelun avulla voidaan saada selville, mitä mahdollisuuksia hankinnoissa kiertotalouden suhteen voidaan vaatia ja tuoda selkeyttä tarjouspyyntöihin.

Esimerkkikysymyksiä markkinavuoropuheluun:

Kiertotalous ja kierrättäminen:

- Millaisia yhteistyömahdollisuuksia toimittaja näkee kaupungin kanssa kestävän kiertotalouden edistämiseksi?



- Millaisia ratkaisuja toimittajalla on jo olemassa strategisia raaka-aineita sisältävien tuotteiden kierrättämiseen erityisesti strategisten raaka-aineiden talteenoton ja hyödyntämisen kannalta?
- Millaisia ratkaisuja toimittaja voisi kehittää strategisten raaka-aineiden kierrätykseen liittyen?
- Voiko toimittaja esittää innovatiivisia ratkaisuja, jotka voisivat edistää kaupungin kiertotaloutta strategisten raaka-aineiden osalta?
- Millainen on toimittajan kokemus kiertotalousratkaisujen tarjoamisessa?
- Millaisia referenssejä toimittajalla on aiemmista vastaavista projekteista tai palveluista?

#### Tuotteet:

- Kuinka joustava/kyvykäs/halukas toimittaja on muokkaamaan tuotteitansa tai palveluitansa vastaamaan kaupungin muuttuvia tarpeita?
- Miten toimittaja hinnoittelee kestäviä ratkaisujaan verrattuna perinteisiin vaihtoehtoihin?
- Millaisia taloudellisia etuja kaupunki voi odottaa valitsemalla kestävä vaihtoehto?

#### Käytännöt ja vaikutukset:

- Kuinka toimittaja aikoo integroida kestäviä käytäntöjä tuotteisiinsa tai palveluihinsa?
- Miten toimittaja arvioi tuotteidensa tai palveluidensa ympäristövaikutuksia?
- Millaisia keinoja toimittajalla on minimoida ympäristöjalanjälkeä?
- Miten toimittaja hallinnoi materiaalivirtoja ja resurssitehokkuutta?

#### Vastuullinen hankinta:

- Miten toimittaja varmistaa, että koko hankintaketju on kestävä ja vastuullinen?
- Kuinka toimittaja varmistaa, että käyttämänsä materiaalit ovat kestäväällä tavalla hankittuja tai kierrätettyjä?
- Onko toimittajalla ohjelmia tai käytäntöjä sosiaalisen vastuun edistämiseksi?

## **Innovaatiot ja pilotointi sekä hankeyhteistyö**

Pilotointiprojekteilla testataan uusia ideoita tai teknologioita rajoitetussa mittakaavassa ennen laajempaa käyttöönottoa. Tavoitteena on saada käytännön kokemusta ja arvioida ratkaisujen toimivuutta käytännössä ja omiin tarpeisiin. Strategisten raaka-aineiden kiertotalouden kannalta pilotointi voi auttaa varmistamaan, että uudet ratkaisut toimivat odotetulla tavalla ja täyttävät kaupungin tarpeet. Se myös vähentää riskejä, joita voi liittyä suurten hankkeiden suoraan toteuttamiseen ilman ennakkokokemuksia.

Esimerkkinä kaupunki voi toteuttaa materiaalien kierrätykseen liittyvän pilotointiprojektin, jossa testataan uusia menetelmiä strategisten raaka-aineiden kierrätyksessä ja katsotaan, miten nämä menetelmät soveltuvat kaupungin hankintojen tarpeisiin.

Innovatiivisten hankintojen, joilla hankitaan uusia ja innovatiivisia ratkaisuja, tuotteita tai palveluita, tavoitteena on kannustaa toimittajia kehittämään ja tarjoamaan luovia ratkaisuja kaupungin tarpeisiin. Tämä tapa kannustaa markkinoita kehittämään ja tarjoamaan kestäviä ratkaisuja. Helsingin kaupungilla suurena toimijana on vaikutusvaltaa markkinoihin ja

vaikuttavuutta kiertotalouden edistämiseen suuremmissakin mittakaavassa toimimalla edelläkävijänä.

Kaupunkien välinen yhteistyö kokemusten jakamisessa sekä uusien ideoiden toteuttamisessa voi hyödyttää kaikkia osapuolia, ja samalla mahdollisiin pilottihankkeisiin saadaan enemmän osallistujia ja näkökulmia. Kaupunki voi myös tehdä yhteistyötä yritysten kanssa, jotka tarjoavat palveluita strategisten raaka-aineiden kiertotalouden edistämiseksi.

**Helsinki**

**Helsingin kaupunki**  
**Kaupunkiympäristön toimiala**

Pohjoisesplanadi 11–13  
00170 Helsinki  
PL 1  
00099 Helsingin kaupunki  
Puhelinvaihde 09 310 1641

[www.hel.fi](http://www.hel.fi)