

Emilia Niittyviita

# Akkujen ja paristojen koostumus

## MATERIAALIKARTOITUS - AKKUJEN JA PARISTOJEN POTENTIAALI MATERIAALILÄHTEENÄ

Emilia Niittyviita

Akkujen ja paristojen koostumus  
**MATERIAALIKARTOITUS - AKKUJEN JA PARISTOJEN  
POTENTIAALI MATERIAALILÄHTEENÄ**



**JULKAISIJA:**

Centria-ammattikorkeakoulu  
Talonpojankatu 2, 67100 Kokkola

**TAITTO:** Centria-ammattikorkeakoulun markkinointi- ja viestintäpalvelut

**KANNEN KUVA:** Emilia Niittyviita

Centria. Raportteja ja selvityksiä 2342-933X, Nro 52

ISBN 978-952-7173-62-6

ISSN 2342-933X, 52

# SISÄLLYSLUETTELO

|  |    |
|--|----|
| LYHENTEET.....   | 5  |
| 1 JOHDANTO.....  | 6  |
| 2 YLEISESSÄ KÄYTÖSSÄ OLEVIEN AKKUJEN JA PARISTOJEN KOOSTUMUS.....                    | 8  |
| 2.1 LITIUMIONIAKUT.....  | 8  |
| 2.2 NIKKELIMETALLIHYDRIDIAKUT.....   | 12 |
| 2.3 ALKALI- JA MUU PARISTOT.....   | 14 |
| 2.4 LYIJYAKUT.....   | 15 |
| 3 AKKUJEN JA PARISTOJEN KERÄYS- JA KIERRÄTYSMÄÄRÄT SEKÄ KIERRÄTYSTEHOIKUUS.....      | 17 |
| 3.1 AKKUJEN JA PARISTOJEN KERÄYSMÄÄRÄT EU-ALUEELLA.....                              | 17 |
| 3.2 AKKUJEN JA PARISTOJEN KIERRÄTYSMÄÄRÄT.....                                       | 19 |
| 4 KIERRÄTETTÄVÄT MATERIAALIT.....  | 22 |
| 4.1 LITIUMIONI- JA NIKKELIMETALLIHYDRIDIAKUT.....                                    | 22 |
| 4.2 ALKALI- SEKÄ SINKKIHIILIPARISTOT.....  | 22 |
| 4.3 LYIJYAKUT.....   | 23 |
| 5 LABORATORIOKOKKEET.....  | 24 |
| 6 KÄYTETTYJEN AKUJEN JA PARISTOJEN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄT TURVALLISUUSTEKIJÄT..... | 27 |
| 7 YHTEENVETO.....  | 28 |
| LÄHDELUETTELO.....   | 29 |

## LYHENTEET

|        |   |
|--------|---|
| BEV    | Täyssähköauto (battery electric vehicle)  |
| HEV    | Hybridisähköajoneuvo (hybrid electric vehicle)  |
| IC     | Ioninvaihtokromatografia (ion chromatography)   |
| ICP-MS | Induktiivisesti kytketty plasma-massaspektrometria (inductively coupled plasma mass spectrometry) |
| LCO    | Litiumkoboltti(III)oksidi (katodimateriaali)  |
| LFP    | Litiumrautafosfaatti (katodimateriaali)   |
| LIB    | Litiumioniakku  |
| LMO    | Litiummangaanioksidi (katodimateriaali)   |
| NCA    | Litiumnikkelikobolttialumiinioksidi (katodimateriaali)  |
| NiCd   | Nikkelikadmiumakku  |
| NiMH   | Nikkelimetallihydridiakku   |
| NMC    | Litiumnikkelimangaanikobolttioksidi eli sekametallioksidi (katodimateriaali)                      |
| PbA    | Lyijyakku   |
| PHEV   | Ladattava hybridisähköajoneuvo (plug-in hybrid electric vehicle)                                  |
| REE    | Harvinaiset maametallit (rare-earth elements)   |
| XRD    | Röntgendiffraktografia (X-ray powder diffractometry)  |

# 1 JOHDANTO

Tämä selvitys on koottu osana Battery Recycle Akkupuisto -hankkeen toteutusta. Selvityksen tarkoituksena on tarjota lisämateriaalia hankkeen puitteissa toteutetun akkujen kierrätykseen ja uudelleenhyödyntämiseen liittyvän raportin tueksi. Tämän raportti kartoittaa erilaisten yleisten akkujen ja paristojen koostumusta, sekä selvittää millaisia määriä kierrätettävää materiaalia on saatavilla ja mitä näistä materiaaleista tällä hetkellä kierrätetään. Raportti pohjautuu pitkälti kirjallisuuslähteisiin ja EU-alueelta kerättyyn tilastotietoon, mutta kirjallisuustutkimuksen rinnalla on suoritettu kyselyitä erilaisilta kierrätyksen parissa toimivilta tahoilta sekä toteutettu laboratorioanalyyskejä. Kyselyiden perusteella on pyritty selvittämään litiumioniakkujen (LIB) ja nikkelimetallihydridiakkujen (NiMH) keräys- ja kierrätysmääriä Suomessa saatavilla olevan materiaalin määrän arvioimiseksi, sillä tällaista tietoa ei muista lähteistä ole toistaiseksi saatavilla. Laboratorioanalyyskejä varten Akkuser Oy toimitti erilaisia kierrätysmateriaaleja yrityksen LIB:jen kierrätysprosessista. Näistä kahdenlaisista (matalakobolttiset ja korkeakobolttiset LIB:t) sekasyötteistä koostuvista näytteistä on tutkittu materiaalien koostumusta ja rakennetta. Saatuja tuloksia on vertailtu kirjallisuudesta saatavaan tietoon LIB:jen koostumuksesta. Tämä raportti ei kuitenkaan keskity ainoastaan LIB:hin, vaan käsittelee myös muiden markkinoilla yleisesti saatavilla olevien akkujen materiaali-koostumustietoja näihin liittyvän kiertotalouden potentiaalin esiintuomiseksi.

Akut ja paristot sisältävät runsaasti metalleja, joita voidaan käyttää uudelleen. Samalla nämä energiansäilöntäyksiköt sisältävät myös muita potentiaalisia kierrätettäviä materiaaleja, kuten liuottimia ja muoveja. (Assefi, Maroufi, Yamauchi & Sahajwalla 2020, Binnemans, Jones, Blanpain, Van Gerven, Yang, Walton & Buchert 2013, Dehghani-Sanij, Tharumalingam, Dusseault & Fraser 2019, Gaines 2014, Meshram, Pandey & Mankhand 2014, Sommerville, Shaw-Stewart, Goodship, Rowson & Kendrick 2020, Wang, An, Wen, Wang, Jiang, Hou, Yin & Liang 2021, Winslow, Laux & Townsend 2018) Niin Suomessa, kuin Euroopassa yleensä, ollaan riippuvaisia monista tuontimateriaaleista, kuten akuista, paristoista ja niiden raakamateriaaleista. (Blengini, El Latunussa, Eynard, Torres de Matos, Wittmer, Georhitzikis, Pavel, Carrara, Mancini, Unguru, Blagoeva, Mathieux & Pennington 2020, Lebedeva, Persio & Boon-Brett 2016) Tämä johtuu ainakin osin siitä, että monia akkujen valmistukseen tarvittavia materiaaleja ei Euroopassa ole mahdollista tai kannattavaa tuottaa. Samaan tapaan akkujen ja akkumateriaalien valmistus on keskittynyt suurelta osin Euroopan ulkopuolelle, pääasiassa Itä-Aasiaan (Kiina, Japani, Etelä-Korea). (Lebedeva ym. 2016) Tämän takia akkujen ja paristojen sisältämät Euroopan näkökulmasta kriittiset materiaalit tulisi saada kierrätettyä mahdollisimman tehokkaasti, jotta ne voidaan palauttaa käyttöön ja siten lisätä EU-alueen ja Suomen omavaraisuutta. (Blengini ym. 2020, Lebedeva ym. 2016) EU pyrkiikin omavaraisuuteen ja on asettanut tavoitteita tukemaan tätä päämäärää. (Blengini ym. 2020, KOMISSIO EHDOTUS COM(2020) 798 final, Lebedeva ym. 2016) EU-alueella omavarainen akkutuotanto tarkoittaa sitä, että kierrätys on välttämätöntä, sillä Euroopan mineraalivarat ovat pienet ja kaivannaisteollisuuden laajentaminen on monin paikoin hyvin haastavaa. (Blengini ym. 2020, Lebedeva ym. 2016) Samaan aikaan EU on asettanut useita akkujen kannalta tärkeitä metalleja EU:n kriittisten raaka-ainesten luetteloon. Näitä ovat mm. koboltti, luonnon grafiitti, litium, pii ja harvinaiset maametallit (REE). (Blengini ym. 2020)

Osa näistä kriittisistä raaka-aineista ovat myös hyviä esimerkkejä materiaaleista, jotka ainakin lähitulevaisuudessa tulevat olemaan välttämättömiä akkujen käytön edelleen lisääntyessä. Tällaisia metalleja ovat esimerkiksi litium ja koboltti. (Blengini ym. 2020, Lebedeva ym. 2016) Tällaisten materiaalien tarve näkyy jo nyt, sillä kysynnän kasvun myötä mm. kobolttin ja litiumin hinnat ovat nousseet. (Dehghani-Sanij ym. 2019) Koska sähköautojen myynnin sekä uusiutuviin energianmuotoihin siirtymisen, ja siten myös akkujen tarpeen sekä akkujätteen määrän oletetaan kasvavan edelleen, tulee myös näiden materiaalien kysyntä ja tarve kasvamaan. (Haram, Lee, Ramasamy, Ngu, Thiagarajah & Lee 2021, Hua, Liu, Zhou, Huang, Ling & Yang 2021, Huang, Pan, Su & An 2018, Lebedeva ym. 2016) Litiumvarantoja maailmassa on toistaiseksi riittävästi, mutta valitettavasti tuotanto ei välttämättä pysy kysynnän perässä. (Gaines 2018, Lebedeva ym. 2016) Kysynnän kasvaessa voimakkaasti on mahdollista, että jo 2020-luvun aikana tullaan kärsimään litiumpulasta. (Liu, Lin, Cao, Zhang & Sun 2019) Akkujen lisäksi litiumia tarvitaan myös muilla teollisuuden aloilla, kuten lääketeollisuudessa ja keramiikkateollisuudessa. (Blengini ym. 2020, Liu ym. 2019)

Koboltti on niin ikään harvinainen metalli, ja kuten litiuminkin kohdalla, on koboltille tarvetta myös muissa kohteissa, vaikka kobolttin tuotannosta akkuteollisuus syö noin 50 % vuosittain. (Blengini ym. 2020, Dehghani-Sanij ym. 2019, Lebedeva ym. 2016) Kobolttipulaan on pyritty vaikuttamaan mm. tuomalla markkinoille vähäkobolttisia ja tulevaisuudessa kobolttittomia LIB:ja, ja tämän trendin uskotaan jatkuvan ja siten lieventävän kobolttin tarvetta akuissa. (Lai, Huang, Deng, Gu, Han, Zheng & Ouyang 2021, Lebedeva ym. 2016) Kobolttin vähentäminen on kuitenkin lisännyt nikkelin osuutta akuissa. (Lai ym. 2021) Nikkeliä tarvitaan akkujen valmistuksen lisäksi myös muissa tärkeissä sovelluksissa, kuten teräksen valmistamisessa. (Blengini ym. 2020, Gaines 2014) Jos akkuteollisuuden nikkelitarve kasvaa voimakkaasti, voi tämä potentiaalisesti näkyä myös nikkelin saatavuudessa ja hinnassa.

Kuten jo edellä on esitetty, näiden mainittujen materiaalien esiintyminen ja/tai tuotanto EU-alueella on vähäistä, ja materiaalit tuotanto ylipäätään on joidenkin raaka-ainesten kohdalla hyvin keskittynyttä tietyille alueille. (Blengini ym. 2020) Esimerkiksi litiumilmentymät keskittyvät Etelä-Amerikkaan sekä Australiaan. Tämän seurauksena valtaosa EU-alueelle

tuodusta litiumista on peräisin Chilestä. Suurin koboltintuottajamaa on Kongon demokraattinen tasavalta, joka tuottaa yli 50 % koko maailman koboltista. Koboltin kaivannaisteollisuus Kongossa on herättänyt huolta eettisyyden (työturvallisuus, pakkotyö, lapsityövoima) kannalta jo pitkään. (Blengini ym. 2020, Lebedeva ym. 2016) Myös valtaosa EU-alueelle tuodusta koboltista tulee Kongosta. (Blengini ym. 2020) Kiina puolestaan on suurin luonnon grafiitin, piin ja harvinaisten maametallien tuottaja globaalisti. Vaikka piistä merkittävä osuus EU-alueelle tuodaan Norjasta, pääosin grafiitti ja harvinaiset maametallit tulevat Kiinasta. (Blengini ym. 2020) Omavaraisuuden lisäksi koko tuotantoketjun eettisyys ja ympäristöystävällisyys ovat nousseet esille mm. EU:n tulevassa uudessa akkulainsäädännössä, jossa pyritään tuomaan läpinäkyvyyttä akkujen tuotantoon aina lähtömateriaaleista kierrätykseen ja edelleen takaisin raaka-aineiksi. (KOMISSION EHDOTUS COM(2020) 798 final)

Monet akkujen sisältämät materiaalit koetaan siis jo nyt kriittisiksi, eikä niiden merkitys lähitulevaisuudessa näytä laskevan, joten materiaalien tehokas kierto tulee olemaan välttämätöntä. Kierrätettävän materiaalin koostumuksen tunteminen auttaa edistämään kierrätystä, helpottaa asianmukaisen ohjauksen laatimista lainsäädännössä mm. haitallisten aineiden osalta, sekä mahdollistaa paremmin materiaalin sisältämien riskien arvioinnin ylipäätään. Samaan aikaan materiaalin koostumuksen tunteminen tuo esiin materiaalin arvon taloudellisesta ja omavaraisuuden näkökulmasta. Akkujäte on resurssi, joka tulisi hyödyntää mahdollisimman hyvin ja tarkasti myösyleisen hyvinvoinnin sekä ympäristön kannalta.

## 2 YLEISESSÄ KÄYTÖSSÄ OLEVIENTYÖN AKKUJEN JA PARISTOJEN KOOSTUMUS



KUVA 1. Erilaisia kennorakenteita a) erimallisia litiumioniakkuja, b) erikokoisia sauvamallisia alkaliparistoja ja c) nappiparistoja

Nykyisin on käytössä laaja kirjo erilaisia akkuja ja paristoja, jotka eroavat toisistaan niin sähköisten ominaisuuksien (nimellisjännite, ladattavuus jne.), kuin kemioiden suhteen (alkaliparistot, litiumparistot, litiumioniakut, lyijyakut jne.). (Dehghani-Sanij ym. 2019) Samalla akkuja ja paristoja on saatavilla monissa eri malleissa (esimerkiksi nappi-, sylinteri- tai prismaattisia kennoja) sekä kokoluokissa sormiparistoista ajovoima-akustoihin. (Elwert, Goldmann, Römer, Buchert, Merz, Schueler & Sutter 2015, Park 2012) Kuvassa 1 on esitetty esimerkkejä monipuolisista akkujen geometrioista ja kemioista. Nämä eri muuttujat johtavat hyvin monipuoliseen syötteeseen kierrätyksessä. Tätä massaa ei toki kierrätetä suoraan, vaan eri materiaalit lajitellaan omiksi kategorioikseen. Kierrätyksessä eri akkukemiat tyypillisesti erotellaan ainakin pääosin toisistaan ja käsitellään erikseen. (Paristikierätyks 2021a, Winslow ym. 2018) Tämä johtuu siitä, että yleisesti eri materiaali-jakeiden talteen ottaminen on helpompaa mitä yksikertaisempi seos ja mitä suurempi osuus materiaalia jakeessa on. Tällöin pääkomponentit saadaan eroteltua suhteellisen helposti. Eri materiaalien ja komponenttien osuus käytöstä poistetussa akkumassassa vaikuttaa siihen, mitä on kannattavaa tai edes mahdollista kierrättää. (Liu ym. 2019, Winslow ym. 2018) Lajittelu on tärkeä osa kierrätystä, mutta se tehdään vielä nykyisin valitettavasti usein käsin, sillä lajittelun automatisointi on haastavaa. (Assefi ym. 2020, Winslow ym. 2018)

### 2.1 LITIUMIONI AKUT

Litiumioniakut (LIB:t) ovat ryhmä monipuolisia akkuja, joita käytetään mm. mobiililaitteissa, sähköautoissa ja kannettavissa työkaluissa. (Gaines 2014, Swain 2017) Ryhmän sisäiset rakenteiden ja kemian variaatiot ovat merkittäviä, poiketen muista ladattavista akuista. (Gaines 2014, Hua, Zhou, Huang, Liu, Ling, Zhou, Zhang & Yang 2020) Nämä erot ja eri akkukemioiden suhteellinen osuus vaikuttavat materiaali- ja alkuainekoostumukseen kierrätettävässä materiaalissa. Kemiallisen rakenteen lisäksi myös eri akkujen rakennetasot (kenno vs. akusto) vaikuttavat niiden koostumukseen. Esimerkiksi vertailtaessa Taulukoissa 1-4 esitettyjen koostumusten eroja nähdään, miten kennojen ja akuston koostumukset suhtautuvat toisiinsa ja miten kennojen rakenteet ja geometria vaikuttavat koostumukseen. (Dunn, Gaines, Barnes, M., Sullivan & Wang 2012, Gaines, Sullivan, Burnham & Belharouak 2011, Golubkov, Fuchs, Wagner, Wiltsche, Stangl, Fauler, Voitic, Thaler & Hacker 2014, Meshram, Abhilash & Pandey 2019, Richa, Babbitt, Gaustad & Wang 2014a, Wang, Gaustad & Babbitt 2016)



Akustojen rakenne eroaa vastaavista käytetyistä kennoista, sillä akustot sisältävät suureen määrän muita komponentteja kennojen lisäksi. (Dunn ym. 2012, Gaines ym. 2011, Golubkov ym. 2014) Näitä muita komponentteja ovat mm. elektroniikka, lämpöeristys, kotelo sekä jäähdytykseen tarvittavat materiaalit, ja ne muodostavat noin 35-40 % akuston massasta. (Cerdas, Titscher, Bogнар, Schmuch, Winter, Kwade & Herrmann 2018, Dunn ym. 2012, Gaines ym. 2011) Akustojen koostumuksessa voi olla suuriakin eroja akun kemiasta ja koosta riippuen. Esimerkiksi lähes kaikki Taulukossa 1 esitetyt akut ovat suhteellisen pieniä, sillä suuri osa niistä on peräisin hybridiakujoneuvoista (hybridisähköajoneuvo eli HEV, ladattava hybridi eli PHEV), joiden akut ovat huomattavasti täyssähköautoja (BEV) pienempiä. (Dunn ym. 2012, Gaines ym. 2011) Vertaillen Taulukossa 1 esitettyjä akkuja nähdään, että saman kemian, kuten litiummagnesiumoksidipohjaisten (LMO), omaavien akkujen keskinäinen vaihtelu eri komponenttien suhteellisten määrien kesken on useita prosentteja. Jos taas vertaillaan samaa kokoluokkaa olevia eri materiaaleista valmistettuja akkuja, voivat eroavuudet koostumuksissa olla joidenkin materiaalien kohdalla yli 10 %. Toki eri kemioita käyttävät akut ovat myös alkuainekoostumukseltaan erilaisia, joten myös siten akustojen keskinäiset erot ovat suurempia eri kuin saman akkukemian kohdalla.

TAULUKKO 1. Erilaisten litiumioniakustojen massakoostumuksia

| Akusto                   | BEV                | HEV  | PHEV | PHEV20            | PHEV20   | PHEV20 | PHEV20 |
|--------------------------|--------------------|------|------|-------------------|----------|--------|--------|
| Katodimateriaali         | LMO                | LMO  | LMO  | LMO-G             | LMO-TiO  | NCA-G  | LFP-G  |
| Akun koko (kg)           | 210                | 19   | 89   | 63                | 106      | 76     | 82     |
| Materiaalijae            | Massaprosentti (%) |      |      |                   |          |        |        |
| Katodimateriaali         | 33                 | 27   | 28   | 24,4              | 28,3     | 24,8   | 22,2   |
| Grafiitti/hiili          | 15                 | 12   | 12   | 18,6              | 4,5      | 18,9   | 17,4   |
| Sidosaine                | 2,5                | 2,1  | 2    | 3,7               | 4,5      | 3,8    | 3,4    |
| Kupari                   | 11                 | 13   | 15   | 13,5              | 2,6      | 13,3   | 13,8   |
| Alumiini                 | 19                 | 24   | 22   | 12,5              | 22,5     | 21,6   | 22,7   |
| Elektrolyytti            | 1,8                | 1,5  | 1,6  | -                 | -        | -      | -      |
| Elektrolyytin liuottimet | 10,6               | 8,8  | 9,4  | 11,8              | 13,4     | 11,7   | 14,2   |
| Muovit, polymeerit       | 3,2                | 4,5  | 4,2  | 4,5               | 3,6      | 4,2    | 4,6    |
| Teräs                    | 1,4                | 2,8  | 1,8  | 0,1               | 0,1      | 0,1    | 0,1    |
| Lämpöeriste              | 0,3                | 0,4  | 0,3  | 1,2               | 1,2      | 1,2    | 1,3    |
| Glykoli                  | 1                  | 2,3  | 1,2  | -                 | -        | -      | -      |
| elektroniikka            | 1,1                | 1,5  | 0,9  | 0,4               | 0,2      | 0,3    | 0,3    |
| Muu jae                  | -                  | -    | -    | -                 | TiO 18,9 | -      | -      |
| Summa                    | 99,9               | 99,9 | 97,4 | 90,7              | 99,8     | 99,9   | 100    |
| Lähde                    | (Dunn ym. 2012)    |      |      | (Gaines ym. 2011) |          |        |        |

Merkinnällä PHEV20 tarkoitetaan autoja, joiden käyttösäde on 20 mailia (noin 32 km). Osalle akustoista on esitetty katodimateriaalin lisäksi anodimateriaali (-G grafiitti, -TiO litiumtitanaattispinelli).

Akuston rakenteet puretaan ja erotellaan akkujätteestä ennen kennojen sisältämän materiaalin kierrätysprosessien alkamista, ja siksi akkujen kierrätysmenetelmien ja akkukierrätykseen tulevien materiaalien koostumus on tärkeää tietää myös kennotasolla. (Hua ym. 2020) Kennon muoto vaikuttaa siihen, millaisia kuoria käytetään. Siinä missä sylinterikennot (esimerkiksi 18650 kennot) ovat tyypillisesti teräskuoria, prismaattisissa kennoissa käytetään alumiinikuoria. Sylinterikennot ovat myös pieniä ja niiden kuoret on valmistettu raskaammasta materiaalista, joten kuoren suhteellinen osuus on prismaattisissa kennoissa suurempi. (Mossali, Picone, Gentilini, Rodríguez, Pérez & Colledani 2020) Se, millaisia kennoja käytetään, vaikuttaa myös akuston materiaalityyppiin. Kennon muoto ja koko vaikuttavat niin elektrodikerrosten kuin kennojen pakkaustiheyteen, jotka puolestaan vaikuttavat materiaalityyppiin. (Hua ym. 2020) Kennojen muodon vaikutus voidaan nähdä vertaillen Taulukossa 4 esitettyjä sauva- ja prismaattisista kennoista. (Richa ym. 2014a)

TAULUKKO 2. Erilaisten litiumionikemien ja kannettavien akkujen komponenttikoostumuksia.

|                  | Kenno               | Kenno | Kenno                     | Kannettava akku |
|------------------|---------------------|-------|---------------------------|-----------------|
| Katodimateriaali | LCO/NMC             | NMC   | LFP                       | LCO             |
| Kennon koko (g)  | 44,3                | 43,0  | 38,8                      | -               |
| Materiaalijae    | Massaprosentti (%)  |       |                           |                 |
| Katodi           | 41                  | 26    | 25                        | 27,5            |
| Anodi            | 18                  | 15    | 13                        | 16              |
| Kupari           | 7                   | 17    | 10                        | 9               |
| Alumiini         | 4                   | 7     | 6                         | 5,5             |
| Elektrolyytti    | 10                  | 10    | 16                        | 3,5             |
| Separaattori     | 3                   | 3     | 3                         | 14              |
| Kuori            | 17                  | 22    | 27                        | 20,2            |
| Muu              |                     |       |                           | Ni 4,3          |
| Summa            | 100                 | 100   | 100                       | 100             |
| Lähde            | (Golubkov ym. 2014) |       | (Dehghani-Sanij ym. 2019) |                 |

Suurin vaikutus alkuainekoostumukseen on kuitenkin katodimateriaalilla, ja tämä on nähtävissä Taulukoissa 2, 3 ja 4. Siinä, missä kennon rakenne ja koko vaikuttavat materiaalien suhteellisiin osuuksiin, akkujen kemia vaikuttaa siihen, mitä materiaaleja LIB:ssä on. Kaikki LIB:t sisältävät tyypillisesti teräs-, kupari- ja alumiiniosia, sekä muovia, hiiltä (grafiitti, hiilimusta) ja elektrolyyttiä (sisältäen suolan ja liuottimen). Edellä esitetty raaka-ainelista käsittää lähes tulkoon kaikki muut komponentit paitsi katodin aktiivisen materiaalin. Nämä materiaalit (litiumkoolttioksidi (LCO), litiumrautafosfaatti (LFP), LMO, litiumnikkelikobolttialumiinioksidi (NCA), litiumnikkelimangaanikobolttioksidi (NMC)) lisäävät alkuaineiden kirjoa kierrätettävässä massassa ja vaikuttavat myös seoksina kierrätettäessä alkuaineiden suhteellisiin osuuksiin. Poikkeavista kemioistaan huolimatta kaikki katodimateriaalit sisältävät litiumia, mutta sen osuus on melko maltillinen muihin alkuaineisiin verrattuna materiaalin keveyden vuoksi. Litiumin lisäksi aktiivisesta aineesta riippuen katodit voivat sisältää alumiinia (NCA), fosforia (LFP), kobolttia (LCO, NMC, NCA), mangaania (LMO, NMC), nikkeliä (NCA, NMC) tai rautaa (LFP). (Golubkov ym. 2014, Meshram ym. 2019, Richa ym. 2014a, Wang ym. 2016)

TAULUKKO 3. Erilaisten litiumionikemien materiaalikoostumuksia.

| Katodimateriaali                        | LCO                | LFP  | LMO  | NMC                | Li-Poly                 |
|---|--------------------|------|------|--------------------|-------------------------|
| Komponentti                             | Massaprosentti (%) |      |      |                    |                         |
| Alumiini                                | 5,2                | 6,5  | 1,1  | 8,5                | 29,2                    |
| Koboltti                                | 17,3               | -    | -    | 2                  | 2,7                     |
| Kupari                                  | 7,3                | 8,2  | 1,1  | 16,3               | 24,5                    |
| Litium                                  | 2                  | 1,2  | 1,5  | 2,4                | 5,3 (LiO <sub>2</sub> ) |
| Magnesium                               | -                  | -    | -    | -                  | 2,5                     |
| Mangaani                                | 0                  | -    | 20,4 | 7,5                | -                       |
| Nikkeli                                 | 1,2                | -    | -    | 8                  | 2,6                     |
| Rauta/teräs                             | 16,5               | 43,2 | 16,5 | -                  | 0,2                     |
| Fosfori                                 | 0                  | 5,4  | 1,1  | -                  | -                       |
| Grafiitti                               | 23,1               | 13   | 33,6 | 20,6               | 10,6                    |
| Hiili (hiilimusta)                      | 6                  | 2,3  | -    | 2                  | -                       |
| Elektrolyyttisuola (LiPF <sub>6</sub> ) | 3,7                | 1,2  | -    | 14,7               | 8,7                     |
| Elektrolyytin liuotin                   | 10,3               | 13,7 | 0,3  | 10,4               | -                       |
| Sidosaine                               | 2,4                | 0,9  | -    | 2,8                | -                       |
| Muovit                                  | 4,8                | 4,4  | 20,1 | 4,9                | 13,1                    |
| Muu                                     | -                  | -    | -    | -                  | 0,6                     |
| Yhteensä                                | 99,8               | 100  | 95,7 | 100,1              | 100                     |
| Lähde                                   | (Wang ym. 2016)    |      |      | (Meshram ym. 2019) |                         |

Koska käytöstä poistuvat akut eivät kuitenkaan aina ole irrallisia kennoja, kuten monet kannettavat akut, vaan ne voivat olla suuriakin kokonaisuuksia, kuten sähköautojen akustot, on kierrätykseen tulevan materiaalin koostumus riippuvainen sen lähteestä. Erityisesti sähköautojen akut eroavat perinteisistä syötteistä, ja kierrätykseen tulevan sähköautoista peräisin olevan akkumateriaalin koostumuksesta on tehty mm. seuraavanlainen arvio: hiiltä (sisältää grafiitin ja hiilimustan) 24,5 %, terästä 22,4 %, Mn 8,8 %, Cu 5,7 %, Al 4,3 %, Co 4,0 % Fe 3,3 %, Ni 2,4 %, Li 1,4 % ja muut materiaalit 22,4 % (ei metallia sisältävää materiaalia). (Richa, Babbitt, Gaustad & Wang 2014b) Vastaavasti yksinkertaistettuna kennojen osuus akustosta on 60-65 % välillä. Akusto rakentuu kennoista, kuoresta ja elektroniikasta. Kuoret ja elektroniikka muodostavat 33% (kuoret) ja 4 % (elektroniikka) akuston massasta. (Cerdas ym. 2018) Erilaisten materiaalikoostumusten perusteella voidaan arvioida kierrätyksen kannattavuutta taloudellisesta näkökulmasta: kuinka arvokasta kierrätysmateriaali on, paljonko massasta on saatavilla tuotetta kyseisellä kierrätysmenetelmällä, sekä riittääkö tuotteesta saatavat tulot kannattavaan toimintaan. Samalla voidaan arvioida millaiset kierrätysmenetelmät tuottavat mahdollisimman tehokkaan lopputuloksen kyseisen massan käsittelyyn.

TAULUKKO 4. Erilaisten litiumionikemien materiaalikoostumuksia.

| Katodimateriaali                        | LCO                | LMO   | LFP   | NMC   | LMO    | LFP    | NMC    |
|---|--------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Kennon malli                            | 18650              | 18650 | 18650 | 18650 | Prism. | Prism. | Prism. |
| Kennon massa (g)                        | 46,0               | 44,7  | 42,3  | 42,2  | 674,5  | 739,4  | 532,6  |
| Materiaalijae                           | Massaprosentti (%) |       |       |       |        |        |        |
| Alumiini                                | 5,22               | 1,12  | 6,52  | 5,26  | 7,41   | 8,49   | 8,46   |
| Koboltti                                | 17,32              | -     | -     | 9,67  | -      | -      | 2,01   |
| Kupari                                  | 7,30               | 1,12  | 8,15  | 7,80  | 14,00  | 15,88  | 16,26  |
| Litium                                  | 2,04               | 1,54  | 1,21  | 1,14  | 1,51   | 1,28   | 2,36   |
| Mangaani                                | -                  | 20,38 | -     | 9,03  | 23,95  | -      | 7,51   |
| Nikkeli                                 | 1,22               | -     | -     | 9,64  | -      | -      | 8,02   |
| Teräs                                   | 16,52              | 16,45 | 33,51 | 17,32 | -      | -      | -      |
| Rauta                                   | -                  | -     | 9,71  | -     | -      | 10,26  | -      |
| Grafiitti                               | 23,13              | 33,56 | 13,00 | 17,20 | 14,70  | 16,17  | 20,64  |
| Hiili (hiilimusta)                      | 6,04               | -     | 2,34  | 6,04  | 2,66   | 1,95   | 2,04   |
| Elektrolyyttisuola (LiPF <sub>6</sub> ) | 3,72               | -     | 1,16  | 4,86  | 14,43  | 21,06  | 14,71  |
| Elektrolyytin liuotin                   | 0,93               | 0,34  | 8,08  | 1,21  | -      | -      | -      |
| Sidosaine                               | 2,41               | -     | 0,92  | 2,42  | 2,99   | 2,48   | 2,78   |
| Muovi                                   | 4,78               | 20,14 | 4,40  | 3,15  | 4,41   | 4,99   | 4,86   |
| Muu                                     | 9,41               | 5,33  | 10,99 | 5,26  | 13,94  | 17,44  | 10,35  |
| Summa                                   | 100                | 100   | 100   | 100   | 100    | 100    | 100    |
| Lähde                                   | (Richa ym. 2014a)  |       |       |       |        |        |        |

Prism. = prismaattinen kenno.

## 2.2 NIKKELIMETALLIHYDRIDIAKUT

Nikkelimetallihydridiakkujen (NiMH) käyttökohteet muistuttavat LIB:ien käyttökohteita, ja niitä voidaan hyödyntää mm. työkaluissa sekä sähköautoissa, vaikka LIB:t syrjäyttävät tämän teknologian käyttöä. (Gaines 2014, Elwert ym. 2015, Winslow ym. 2018) NiMH:lla on niin ikään LIB:ien tapaan useita eri kemioita. NiMH:ien kohdalla ne ovat kuitenkin enemmän toistensa kaltaisia. Tämän vuoksi kierrätyksessä ei ole koettu tarvetta erotella kemioita toisistaan, kuten usein LIB:ien kanssa toivottaisiin. (Gaines 2014, Innocenzi, Ippolito, De Michelis, Prisciandaro, Medici & Vegliò 2017, Winslow ym. 2018) Tästä huolimatta eri kemioiden materiaalikoostumukset vaihtelevat keskenään, ja myös NiMH:ien kohdalla kennojen geometrialla on vaikutus koostumukseen. Tämä voidaan havaita tarkastelemalla Taulukoita 5-7. (Kozlov, Terenchenko & Karpukhin 2015, Lin, Huang, Wang, Chou, Kuo, Hung & Lin 2016, Meshram ym. 2019)

TAULUKKO 5. Nikkelimetallihydridiakun komponenttien osuudet

| Kennon komponentit    | Massa-%        |
|-----------------------|----------------|
| Katodimateriaali      | 33,2           |
| Anodimateriaali       | 29,3           |
| Separaattori (paperi) | 4,6            |
| Virrankeräimet        | 4,5            |
| Kuori                 | 25,6           |
| Muovi                 | 1,2            |
| Muu                   | 1,4            |
| Lähde                 | (Lin ym. 2016) |

Kuten Taulukosta 5 nähdään, elektrodimateriaali muodostaa kuorien kanssa pääosan materiaalivirrasta, ja musta massa (katodi- ja anodimateriaali) kattaa yli 60 % materiaalista. Katodi- ja anodimateriaalit sisältävät sinkkiä, nikkeliä, mangaania ja kobolttia sekä harvinaisia maametalleja (REE) tai zirkoniumia. (Lin ym. 2016) Sinällään NiMH-jen sisältämä materiaalikirjo on laaja, sillä anodin REE:ja sekä muita yhdisteitä sisältävät seoksia on useita. Näiden seosten sisältämät materiaalit eivät kuitenkaan välttämättä muodosta merkittäviä osuuksia koko kennon tasolla (TAULUKKO 6). (Kozlov ym. 2015, Lin ym. 2016, Meshram ym. 2019)

TAULUKKO 6. Nikkelimetallihydridikenttien koostumuksia eri lähteistä

| Materiaali  | Massa-%           | Massa-%            | Massa-%        |
|-------------|-------------------|--------------------|----------------|
| Alumiini    | 0,5               | -                  | 0,3            |
| Kalsium     | -                 | -                  | 0,7            |
| Koboltti    | 1,8               | 2-5,7              | 4,4            |
| Kupari      | 3,9               | -                  | -              |
| Magnesium   | 1                 | -                  | -              |
| Mangaani    | -                 | 0,2-5,6            | 0,7            |
| Nikkeli     | 28,2              | 29-57              | -              |
| Sinkki      | -                 | 3-9                | 0,8            |
| REE         | 6,3               | -                  | -              |
| Cerium      | -                 | 7,4                | 5,2*           |
| Dysprosium  | -                 | 3-6                | -              |
| Lantaani    | -                 | 20,2               | 12,1*          |
| Neodyymi    | -                 | 2,4-10             | -              |
| Praseodyymi | -                 | 1-3                | -              |
| Samarium    | -                 | 4-9                | -              |
| Teräs       | 35,7              | -                  | -              |
| Rauta       | -                 | 0,1-47             | 15,4           |
| Muovi       | 22,5              | -                  | -              |
| Kumi        | 0,1               | -                  | -              |
| Lähde       | (Kozlov ym. 2015) | (Meshram ym. 2019) | (Lin ym. 2016) |

Taulukkoon sisällytetty alkuaaineet, joita vähintään 0,1%; \* alle määrittäjärajan

Taulukossa 7 on esitetty erilaisten kennorakenteiden vaikutusta NiMH:jen materiaali koostumukseen. (Lin ym. 2016) Tuloksista voidaan erottaa, että keskimäärin pienemmissä nappikenoissa kuoren (rauta) osuus on muita suurempi. Samoin voidaan todeta, että musta massa muodostaa prismaattisessa kennossa merkittävämmän osuuden, sillä muovikuoret ovat suhteessa kevyemmät kuin metalliset. Taulukon pohjalta voidaan myös sanoa, etteivät saman geometrian omaavat kennot myöskään aina ole sen enempää toistensa kaltaisia kuin eri kennotyyppit keskenään, sillä eri elektrodimateriaalit vaikuttavat kennon koostumukseen merkittävästi.

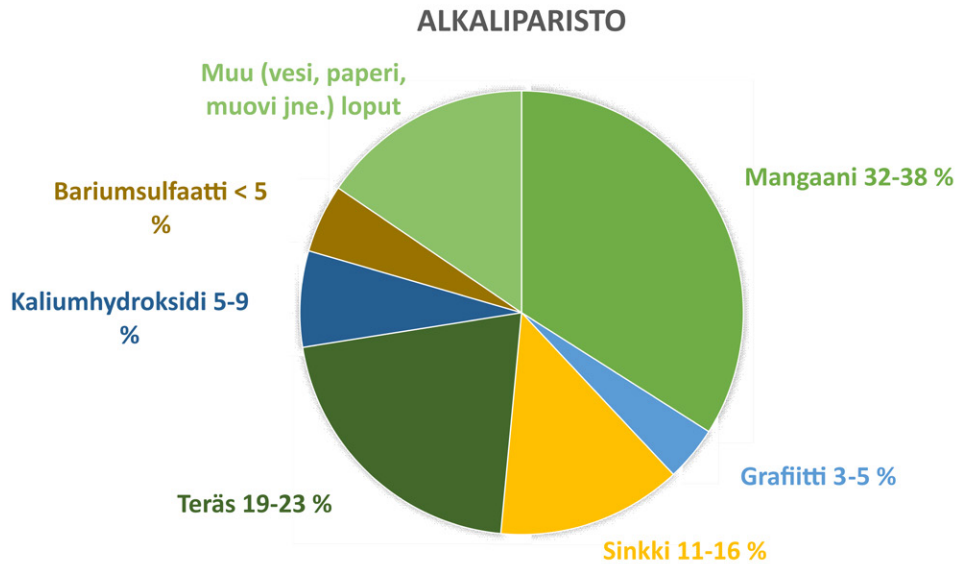
**TAULUKKO 7. Erilaisten nikkeli metallihydridikenojen koostumuserot massaprosentteina**

| Materiaali | Sauvakkeno                | Sauvakkeno                          | Prismaattinen kenno | Nappikkeno |
|------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------|
| Koboltti   | 4,41                      | 3-4                                 | 2-3                 | 2-3        |
| Rauta      | 15,40                     | 22-25                               | 6-9                 | 31-47      |
| Kalium     | 1,74                      | 1-2                                 | 3-4                 | 1-2        |
| Nikkeli    | 18,40                     | 36-42                               | 38-40               | 29-39      |
| REE        | 17,30                     | 8-10                                | 7-8                 | 6-7        |
|            | Cerium, Lantaani, Yttrium | Cerium, Lantaani, Neodyyni, Yttrium |                     |            |
| Grafiitti  | -                         | <1                                  | <1                  | 2-3        |
| Muovi      | 2,51                      | 3-4                                 | 16-19               | 1-2        |
| Muu        | 40,31*                    | 17-20                               | 19-22               | 10-13      |
| Lähde      | (Lin ym. 2016)            |                                     |                     |            |

\*sisältää grafiitin

## 2.3 ALKALI- JA MUU PARISTOT

Paristot ovat toinen kokonaisuus, joissa akkujen tapaan hyödynnetään kemiallista energian varastointia. Paristot eroavat akuista siten että, paristot ovat kertakäyttöisiä, eli niitä ei voi ladata uudelleen käytön jälkeen. Tyypillisiä nykyään käytettyjä paristoja ovat mm. alkaliparistot ja litiumparistot. Alkaliparistot sisältävät pääasiassa mangaania, sinkkiä ja terästä (KUVIO 1) ja ovat aiemmin esitettyihin akkuihin verrattuna ympäristölle harmittomampaa jätettä. (Dehghani-Sanij ym. 2019) Alkaliparistot sisältävät nimensä mukaisesti emäksistä materiaalia, sillä paristojen elektrolyytti on alkalinen KOH-liuos. (Dehghani-Sanij ym. 2019) Alkaliparistoja voidaan kuitenkin kierrättää, ja esimerkiksi Suomessa alkaliparistoista erotellaan mm. rautaa sisältävät kuoret uudelleen käyttöön. (Paristokierrätys 2021a) Mustan massan sisältämä sinkki ja mangaani hyödynnetään sinkintuotannossa sekä TraceGrow:n kehittämän lannoitevalmisteen valmistuksessa. (Paristokierrätys 2021a, TraceGrow 2021)



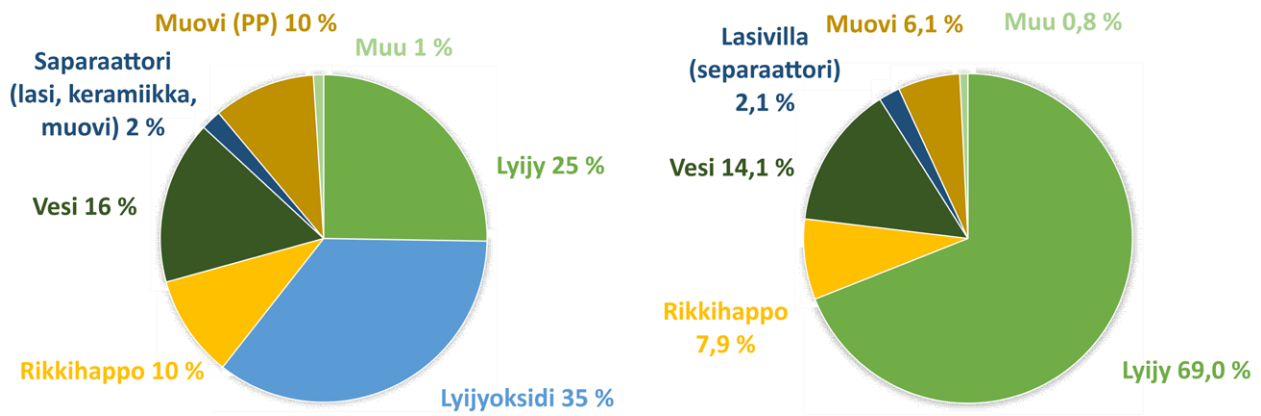
KUVIO 1. Alkaliparistojen keskimääräinen koostumus massaprosenteina.

Alkaliparistojen lisäksi sinkkiä ja mangaania hyödyntäviä paristoja ovat sinkkihiiliparistot, jotka koostuvat pitkälti samoista materiaaleista, kuin alkaliparistot, mutta käyttävät elektrolyyttinä emäksen sijasta hapanta  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -liuosta. (Dehghani-Sanij ym. 2019, Sadeghi, Jesus & Soares 2020) Koska sinkkihiiliparistot ja alkaliparistot ovat materiaaleiltaan hyvin samankaltaisia, ne kierrätetään tyypillisesti yhdessä ja muodostavat noin 80 % kerätyistä kannettavista akuista ja paristoista. (Sadeghi ym. 2020)

Litiumparistot puolestaan eivät ole alkaliparistojen tapaan turvallisia, vaan niihin liittyy väärin käsiteltynä huomattava paloriski, ja ne voivat siten olla vaarallisia esimerkiksi muun jätteen seassa. Tämä johtuu siitä, että litiumparistoissa käytetään litiummetallia, joka on hyvin reaktiivista ilman ja kosteuden kanssa. (Dehghani-Sanij ym. 2019, Liu ym. 2019, Xu ym. 2008) Pariston kuoren hajotessa jäljellä oleva metallinen litium reagoi voimakkaasti ympäristön kanssa ja voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa tulipaloja. (Liu ym. 2019, Xu, Thomas, Francis, Lum, Wang & Liang 2008) Näitä paristoja voidaan kierrättää yhdessä LIB:jen kanssa. (Sommerville ym. 2020) Usein paristot päätyvät kuitenkin hävitettäväksi polttamalla tai ne kaatopaikataan. (Dehghani-Sanij ym. 2019, Sadeghi ym. 2020)

## 2.4 LYIJYAKUT

LIB:jen ja NiMH:jen lisäksi lyijyakut (PbA) ovat yleinen käytössä oleva akkutyyppejä. PbA:n materiaalikoostumus on kuitenkin edellä mainittuja akkuja huomattavasti yksinkertaisempi eikä omaa juurikaan variaatioita (KUVIO 2). (Dehghani-Sanij ym. 2019, Gaines 2014, Kozlov ym. 2015) PbA:jen kierrätettävät pääkomponentit ovat lyijy, muovi ja elektrolyytti. Nämä komponentit muodostavat valtaosan lyijyakun materiaalista, ja siten kierrätystehokkuudet ovat odotetusti merkittäviä. (Dehghani-Sanij ym. 2019, Kozlov ym. 2015) PbA:jen kierrätys on suhteellisen yksinkertaista ja tehokasta, ja keräys- ja kierrätysjärjestelmät ovatkin jo laajalti vakiintuneita. Tämä johtuu ainakin osin akkujen sisältämien materiaalien tunnetusta vaarallisuudesta, mutta toki melko yksinkertainen kierrätysprosessi ja materiaalin arvon ja käytettävyyden säilyminen ovat myös vaikuttaneet asiaan. (Ahmed 1996, Dehghani-Sanij ym. 2019, Gaines 2014) Lyijy on tunnetusti myrkyllinen materiaali ja voi aiheuttaa siten niin terveyshaittoja kuin ympäristön saastumista. (Ahmed 1996, Dehghani-Sanij ym. 2019) Lyijyn lisäksi PbA:t sisältävät myös hapanta elektrolyyttiä, rikkihappoa. (Dehghani-Sanij ym. 2019, Kozlov ym. 2015) Koska rikkihappo on vahva happo, voi akkujen väärinkäsittelystä ja hävittämisestä aiheutua tarpeettomia riskejä ihmisille ja ympäristölle.



KUVIO 2. Lyijyakkujen keskimääräisiä koostumuksia massaprosentteina.

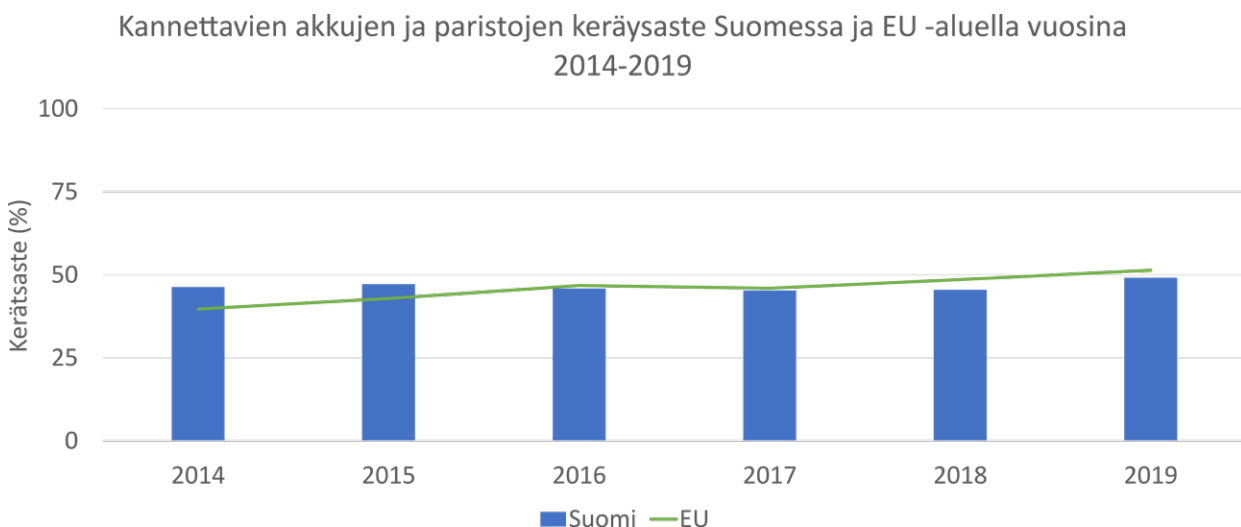


### 3 AKKUJEN JA PARISTOJEN KERÄYS- JA KIERRÄTYSMÄÄRÄT SEKÄ KIERRÄTUSTEHOKKUUS

Keräys- ja kierrätystilastoja eri akkumateriaalien kohdalta löytyy vaihtelevasti. Tarkemmin säädelyjen akkujen ja paristojen (sisältävät myrkyllisiä aineita, kuten kadmiumia ja lyijyä) keräystä ja kierrätystä valvotaan tiukemmin, joten tällaisista materiaaleista on tietoa saatavilla. Toisaalta EU ei velvoita keräämään tietoa eri akkutyypeistä PbA:ja ja nikkelikadmiumakkuja (NiCd) lukuun ottamatta, vaan akut on jaoteltu kokonaisuuksiin käyttötarkoituksen perusteella. Tämän tiedon pohjalta voidaan siis sanoa jotain keräyksen tehokkuudesta ja siitä paljonko materiaalia olisi potentiaalisesti käytettävissä kierrätykseen kaiken kaikkiaan. (Direktiivi 2006/66/EY, eurostat 2021a, eurostat 2021b) Keräys- ja kierrätyslukuja voidaan verrata myös markkinaosuuksiin, mutta erilaisten akkujen käyttöikä vaihtelee akkukemian, käyttökohteen ja käyttötavan seurauksena. Markkinoille tuodut erilaiset akut ja paristot eivät siis välttämättä myöskään poistu käytöstä saamanaikaisesti, jolloin arviointi myynnin pohjalta voi olla haastavaa, ottaen huomion myös erilaisten akkutyyppien kierrätysasteiden vaihtelun. (Paristokierrätys 2021b)

#### 3.1 AKKUJEN JA PARISTOJEN KERÄYSMÄÄRÄT EU-ALUEELLA

Suomessa ja EU-alueella on voimassa nk. paristo- ja akkudirektiivi (2006/66/EY). Direktiivin perusteella jäsenvaltiot on veloitettu keräämään tietoa maassa tapahtuvasta keräys- ja kierrätystoiminnasta. (Direktiivi 2006/66/EY) Tiedot keräysmääristä, kierrätysmääristä ja -tehokkuuksista on saatavilla komission statistiikkapalvelun Eurostatin kautta. (Eurostat 2022) Jäsenmaiden lisäksi jotkin EU:n yhteistyökumppanit kuten Norja, ilmoittavat vastaavia tietoja järjestelmään. Tässä kappaleessa vertaillaan Suomen keräyksen ja kierrätyksen tasoa ja volyyymia EU-alueen sekä lähimmän toimintaympäristön eli Pohjoismaiden kanssa. Vertailusta on poisluettu Islanti, sillä yhtä kattavia tietoja Islannin tilanteesta ei ole saatavilla Eurostatin kautta. (Eurostat 2021a)

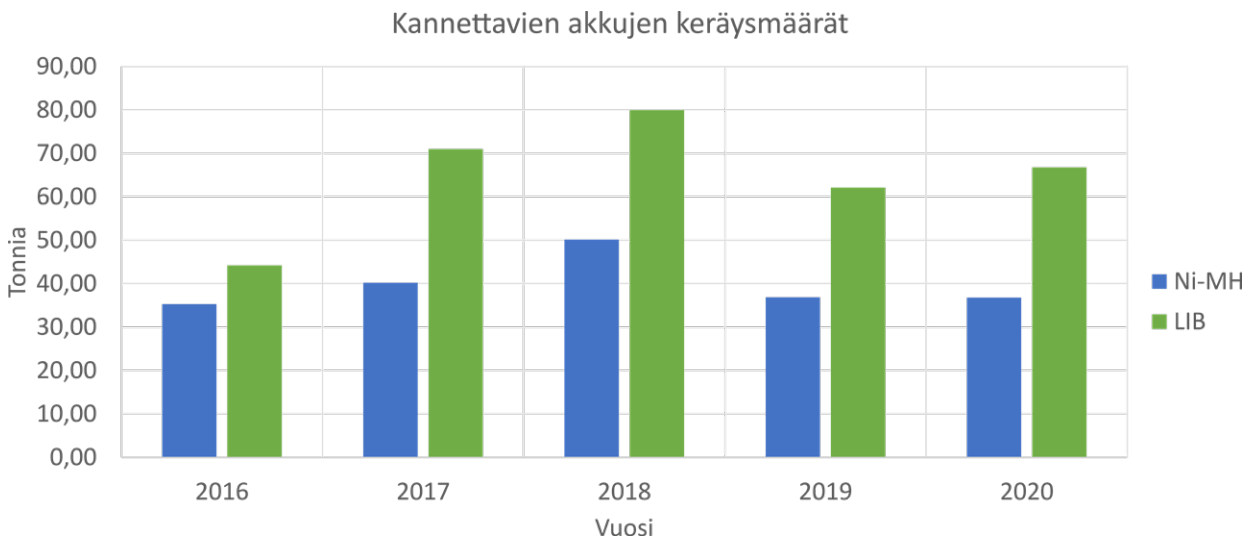


KUVIO 3. Kannettavien akkujen ja paristojen keräysasteen kehitys Suomessa ja EU-alueella vuosina 2014-2019.

Kannettavien akkujen ja paristojen keräysaste on Suomessa jo pitempään ollut noin Euroopan Unionin keskimääräisen keräysasteen tasolla. EU-maissa keräysaste vaihteli esimerkiksi vuonna 2019 28 % ja 91 % välillä ja Suomen kierrätysaste oli kyseisenä vuonna 49 %. (eurostat 2021a) Suomessa kannettavat akut ja paristot kierrättää Akkuser Oy ja keräyksen suorittaa Recser Oy ja ERP Finland ry. (Akkuser 2021, Ymparisto.fi 2022) Kannettavien akkujen ja paristojen keräysasteiden kehitys viime vuosina Suomessa ja EU-alueella on esitetty Kuviossa 3. (eurostat 2021a) Keräysasteen pitäisi voimassa olevan lainsäädännön puitteissa olla kaikissa jäsenvaltioissa 45 %. Tähän tavoitteeseen ei kuitenkaan olla vielä toistaiseksi päästy, vaikka keskimääräinen keräysaste onkin tämän arvon ohittanut. (Direktiivi 2006/66/EY, Eurostat 2021a)

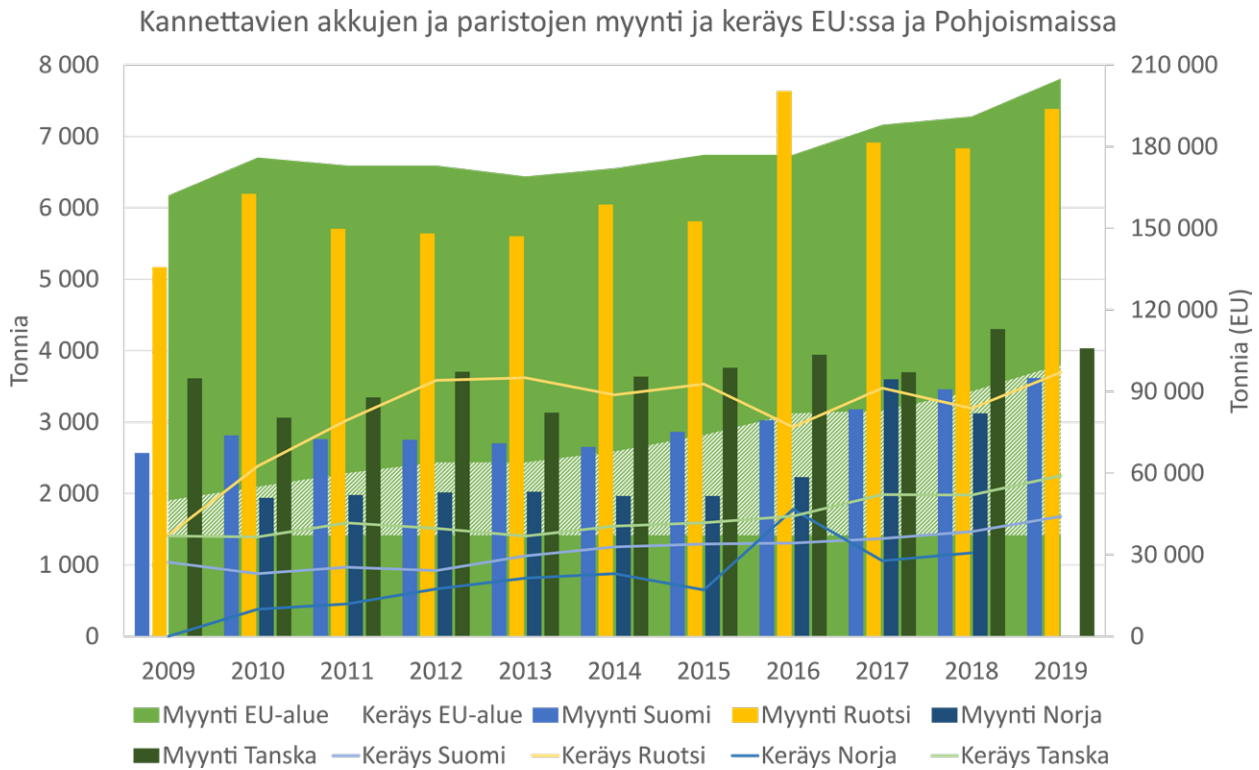
Materiaalikartoituksen yhteydessä keräys- ja kierrätysmääriä tiedusteltiin edellä mainituilta suomalaisilta toimijoilta. Vastauksia keräysmääristä saatiin Recseriltä ja kierrätysmääristä Akkuseriltä. (Ilonen 2021, Karjalainen 2021) Tietoja pyydettiin erityisesti eritellysti LIB:sta ja NiMH:sta, joista tilastotietoa ei ole saatavilla. Recseriltä saatujen tietojen mukaan kannettavia LIB:ja ja NiMH:ja kerättiin Kuvion 4 mukaisesti. (Ilonen 2021) Kuvio kattaa vain osan Suomessa kerätyistä

kannettavista LIB:sta ja NiMH:sta, sillä keräystä suorittaa myös ERP Finland ry. (Ymparisto.fi 2022) Kuvion 4 perusteella ei siten voida arvioida keräyksen kokonaismäärää, mutta voidaan kuitenkin olettaa, että muukin keräys koostuu samantyyppisestä jakaumasta materiaalia. Kuvion perusteella voidaan sanoa LIB:jen yleistyneen tarkasteluvuosina keräyksessä siten, että NiMH:ja kerätään LIB:hin verrattuna nykyisin suhteessa selvästi vähemmän kuin ennen. Kaikkien kerättyjen kannettavien akkujen ja paristojen osalta LIB:t ja NiMH:t kattavat kuitenkin arviolta hieman alle 10 % kerätystä akkuista (vuonna 2020). Loput noin 90 % muodostuu paristoista. (Paristokierrätys 2021b) Tämän perusteella voidaan karkeasti arvioida, että Suomessa vuonna 2019 kerättiin (olettaen NiMH:je ja LIB:jen muodostavan 10 % kerätystä massasta) noin 168 tonnia, joista noin 108 tonnia eli 64 % olisi LIB:ja ja noin 60 tonnia eli 36 % olisi NiMH:ja, olettaen että koko akkumassa noudattaa samaa materiaali-jakaumaa, kuin Recser:ltä saadut tiedot kyseisenä vuonna.



**KUVIO 4. Suomessa Recser Oy:n toimesta kerättyjen annettavien akkujen määrä vuosina 2016-2019.**

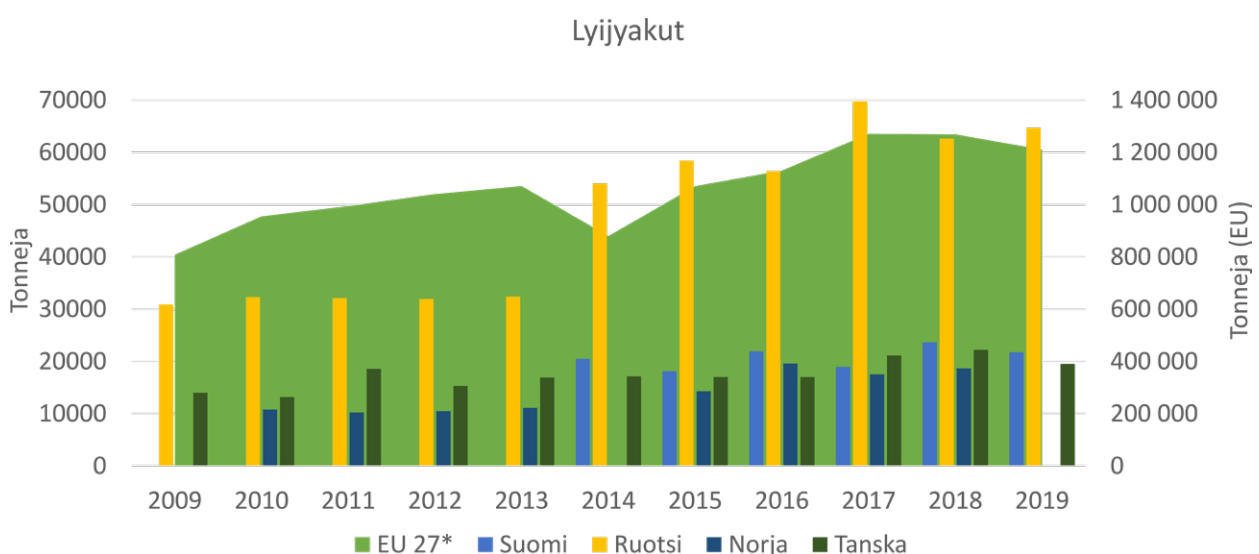
Keräysasteen lisäksi tietoa akkujen ja paristojen myynnistä sekä kokonaiskeräysmääristä on saatavilla. Kuviossa 5 on esitetty EU-alueen sekä Pohjoismaiden kannettavien akkujen ja paristojen myynti- ja keräysmäärät. (Eurostat 2021a) Vaihtelua eri Pohjoismaiden kesken viimeisinä vuosina on melko vähän ja pääasiassa kierrätysasteet liikkuvat EU-alueen tapaan 30 ja 60 % välillä. EU-alueeseen verrattaessa unioniin kuuluvissa Pohjoismaissa keräysasteet liikkuvat molemmin puolin melko lähellä EU-maiden keskiarvoa. Suomessa ja Tanskassa keräysaste on noussut tasaisesti EU-keskiarvon tapaan. Ruotsissa keräysaste on puolestaan laskenut.



KUVIO 5. Kannettavien akkujen ja paristojen myynnin ja keräyksen kehitys EU-alueella sekä Pohjoismaissa vuosina 2009-2018.

### 3.2 AKKUJEN JA PARISTOJEN KIERRÄTYSMÄÄRÄT

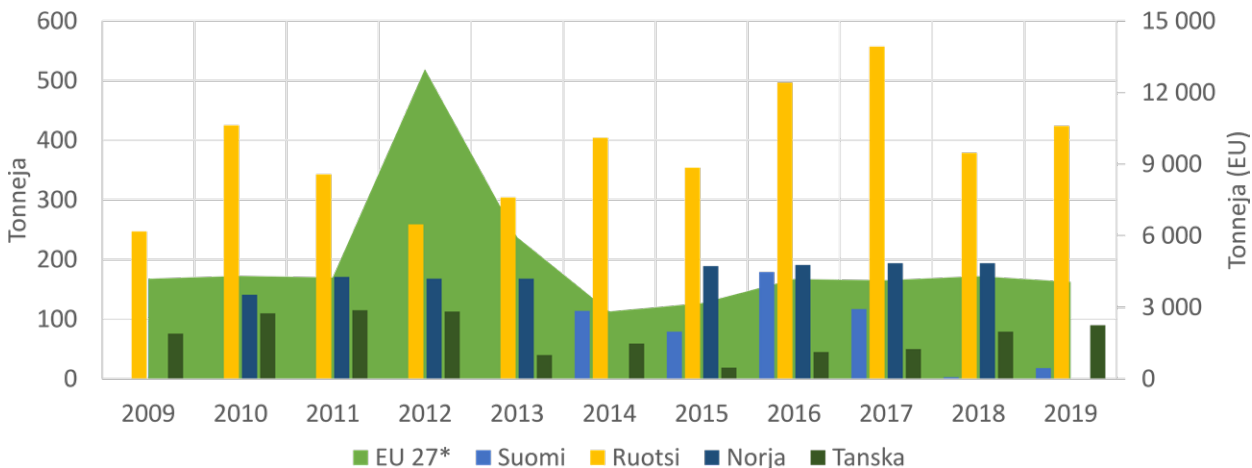
Kierrätyksessä, kuten keräyksenkin parissa, ei akku- ja paristomassasta erotella tilastollisesti EU-alueella kuin PbA:t ja NiCd:t. Muut akut ja paristot on sisällytetty kierrätyksessä kategoriaan ”muut akut ja paristot”. Kerättävät tiedot kierrätysmääristä ovat syötteen ja kierrätetyn materiaalin määrä, joiden perusteella kierrätystehokkuudet lasketaan. Syötteen ja kierrätetyn materiaalin määrä ovat saatavilla tonneina Eurostatin kautta. Kuvioissa 6-8 on esitetty näiden kolmen eri kategorian kierrätysmäärät EU-maissa sekä niissä Pohjoismaissa, josta tiedot ovat kattavasti saatavilla Eurostatin kautta. (Eurostat 2021a)



KUVIO 6. Lyijyakujen kierrätysmäärät Pohjoismaissa sekä EU-alueella 2009-2019. \*EU 27 on yhteenlaskettu summa, niiden EU-maiden ilmoittamista kierrätysmääristä, joiden tiedot ovat saatavilla kyseisenä vuonna.

Kuvioiden 6-8 perusteella voidaan todeta, että kierrätettävät määrät Pohjoismaissa ovat kaikissa kategorioissa kymmeniä, jopa kymmeniä tuhansia tonneja. (Eurostat 2021a) NiCd:ja ei ole ollut myynnissä vuodesta 2009 lähtien, ja ne ovatkin näistä materiaaleista pienin ryhmä, kuten myös kuvioita vertaillen nähdään. (Calin, Catinean, Bilici & Samuila 2021) NiCd:jen kierrätysmäärät ovat pysyneet melko tasaisina viimeisen vuosikymmenen ajan (KUVIO 7). Seuraavaksi suurin ryhmä on lyijyakut, joiden kierrätysmäärät ovat kasvaneet hiljalleen viime vuosina (KUVIO 6). Koska kaikki muut akut ja paristot kuuluvat kolmanteen kategoriaan, ei liene yllättävää, että tämä kategoria on myös volyymiltään suurin. Muiden akkujen ja paristojen kierrätysmäärät ovat niin ikään PbA:jen tapaan kasvussa niin EU-alueella, kuin pääosin myös Pohjoismaissa (KUVIO 8). Norjassa kierrätysmäärät ovat pysyneet samalla tasolla.

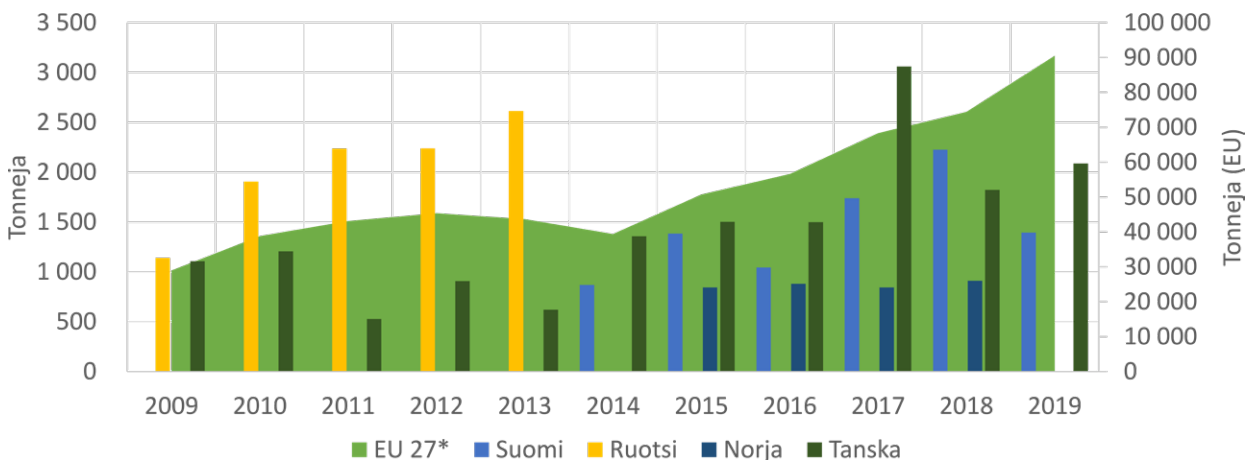
### Nikkelikadmiumakut



KUVIO 7. Nikkelikadmiumakkujen kierrätysmäärät Pohjoismaissa sekä EU-alueella 2009-2019. \*EU 27 on yhteenlaskettu summa, niiden EU-maiden ilmoittamista kierrätysmääristä, joiden tiedot ovat saatavilla kyseisenä vuonna

Muiden akkujen ja paristojen kierrätystehokkuus on kuitenkin EU-alueella (noin 70 %) ja Suomessa (noin 50 %) PbA:jen ja NiCd:jen (noin 80 % molemmissa ryhmissä ja materiaaleissa) kierrätystehokkuuksia matalampi. Suomessa ero on merkittävä ja jää reilusti alle EU-alueen keskiarvon, vaikka PbA:jan ja NiCd:jen kierrätysasteet sekä lyijyn ja kadmiumin kierrätysasteet ovat EU-keskiarvoa korkeammat, kuten Kuvioista 9 nähdään. PbA:jen ja NiCd:jen kierrätysasteen lisäksi seurataan näiden akkujen sisältämien vaarallisten raskasmetallien (lyijy ja kadmium) kierrätysasteita lisäksi vielä erikseen ja taso näiden kierrätyksessä on yli 90 %. (Eurostat 2021b)

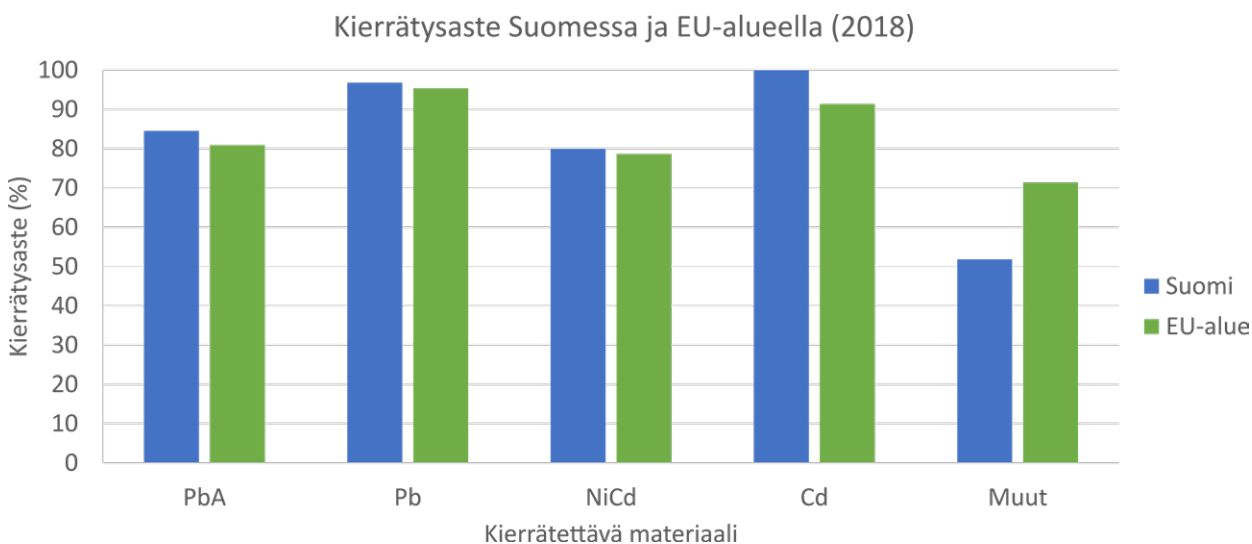
### Muut akut ja paristot



KUVIO 8. Muiden akkujen (ei lyijy- tai nikkelikadmiumakkujen) kierrätysmäärät Pohjoismaissa sekä EU-alueella 2009-2019. \*EU 27 on yhteenlaskettu summa, niiden EU-maiden ilmoittamista kierrätysmääristä, joiden tiedot ovat saatavilla kyseisenä vuonna.

Selvityksen aikana tehtyjen kyselyjen perusteella voidaan arvioida Suomessa kierrätettävien kannettavien LIB:jen ja NiMH:jen määrää. Akkuser arvioi kierrätetyn materiaalin määriä suunta-antavasti vuoden 2020 osalta seuraavasti: 500 tonnia LIB:ja, josta suurin osa materiaalista tulee ulkomailta, ja 75 tonnia NiMH:ja, joka on pääosin Suomesta kerättyä materiaalia. (Karjalainen 2021) Näiden lukujen voidaan katsoa olevan linjassa edellisessä luvussa laskennallisesti arvioituun karkeaan määrään Suomessa kerätystä materiaaleista.

Uusi mm. akkujen kierrätystä ja uusiokäyttöä koskeva direktiivi kasvattaa kierrätystehokkuuden vaatimuksia nykyisestä. Samalla kierrätettyjen materiaalien käyttövaade ja uudet kierrätyskategoriat tuovat julki lisää tietoa akkujätteen koostumuksesta. Tulevaisuudessa tullaan pystymään seuraamaan myös esimerkiksi LIB:jen kierrätystä tarkemmin, sillä mm. litiumin talteenotto ja uudelleenhyödyntäminen akuissa tulee pakolliseksi. (Komission ehdotus COM(2020) 798 final) Samalla voidaan odottaa kierrätysmäärien kasvua keräys- ja kierrätystehokkuuden vaativuuden kasvaessa.



KUVIO 9. Erilaisten akkujen ja paristojen kierrätyksen taso Suomessa ja EU-alueella vuonna 2018.

## 4 KIERRÄTETTÄVÄT MATERIAALIT

Akut ja paristot sisältävät laajan kirjon yleisiä (rauta, kupari alumiini) ja harvinaisempia metalleja (koboltti, harvinaiset maametallit), orgaanisia ja polymeerisiä aineita sekä erilaisia liuoksia. (Blengini ym. 2020, Dunn ym. 2012, Gaines ym. 2011, Golubkov ym. 2014, Kozlov ym. 2015, Lin ym. 2016, Meshram ym. 2019, Richa ym. 2014a, Wang ym. 2016) Tyypillisesti valtaosa metallifraktoista kierrätetään takaisin metalleiksi tai metallisuoloiksi, jolloin materiaali voidaan hyödyntää niin akkujen kuin muiden sovellusten valmistuksessa. (Hua ym. 2020, Huang ym. 2018, Meshram ym. 2014) Orgaaniset materiaalit sekä muovit voidaan hyödyntää energiantuotantoon kierrätysprosesseissa tai muualla hyödynnettäväksi, mikäli osien kierrätys on muutoin mahdotonta (likaiset ja haitallisia materiaaleja sisältävät jakeet). (Winslow ym. 2018, Zheng, Zhu, Lin, Zhang, He, Cao & Sun 2018) Elektrolyyttiliuokset voivat päätyä jäteliuoksiin tai ne voidaan kierrättää uudelleenkäyttöön akkutyypistä ja kierrätysmenetelmästä riippuen. (Gaines ym. 2014, Liu ym. 2019, Ordoñez, Gago & Girard 2016, Sommerville ym. 2020, Wang & Wu 2017, Winslow ym. 2018)

### 4.1 LITIUMIONI- JA NIKKELIMETALLIHYDRIDI AKUT

Perinteisesti LIB:jen ja NiMH:jen kierrätyksessä on keskitytty helposti eristettäviin ja/tai arvokkaisiin päämetallijakeisiin kennoissa. Tällaisia ovat mm. koboltti, kupari, nikkeli ja teräs, jotka voidaan ottaa talteen perinteisillä pyrometallurgisilla menetelmillä. Samalla vaikeammin kierrätettävät metallit, joita kennoissa on suhteellisen vähän tai jotka eivät esiinny metalleina luonnossa (esiintyvät yhdisteinä), on jätetty usein vähemmälle huomiolle. (Liu ym. 2019, Winslow ym. 2018) Tällaisia metalleja LIB:ssa on mm. litium ja alumiini, ja NiMH:ssa REE:t. (Assefi ym. 2020, Binnemans ym. 2013, Gaines 2014, Hua ym. 2020, Winslow ym. 2018) Nämä haasteelliset jakeet ovat kuitenkin arvokkaita ja tarpeellisia niin akkuteollisuuden kuin muunkin teollisuuden parissa, ja kiinnostus näiden jakeiden kierrätyksestä kohtaan on kasvanut 2000-luvun aikana. (Blengini ym. 2020, Gaines 2014, Huang ym. 2018, Liu ym. 2019, Winslow ym. 2018)

Kuten edellä on esitetty, helposti kierrätettävät ja akkujätteessä runsaana esiintyvät sekä arvokkaat materiaalit ovat usein ensimmäinen kierrätyskohde. (Liu ym. 2019, Sommerville ym. 2020, Winslow ym. 2018) Tällaisia materiaaleja ovat mm. kennojen kuorista saatava teräs, alumiini tai muovi, sekä virrankeräinmateriaalit (mm. Al, Cu). Nämä materiaalit ovat helposti erotettavissa muusta materiaalista, koska ne esiintyvät suurina erillisinä osioina. (Sommerville ym. 2020, Winslow ym. 2018) Mustassa massassa runsaana esiintyvät helposti eroteltavat ja tuottoisat metallit ovat seuraava eroteltava kategoria. Tällaisia materiaaleja ovat koboltti ja nikkeli. Muut materiaalit vaativat enemmän työtä mm. puhtauden suhteen. (Liu ym. 2019, Winslow ym. 2018) Nämä materiaalit sisältävät mm. litiumin ja REE:t, jotka perinteisesti käytetyissä pyrometallurgisessa käsittelyssä päätyvät vaikeasti kierrätettävään muotoon (kuona). (Assefi ym. 2020, Binnemans ym. 2013, Gaines 2014, Hua ym. 2020, Winslow ym. 2018) Näiden eri metallien lisäksi kennoissa on vielä palavia materiaaleja, jotka perinteisin kierrätysmenetelmiin tuhoutuvat kierrätyksen aikana, vaikkakin ne voidaan hyödyntää prosessissa energian lähteenä. (Golmohammadzadeh, Faraji & Rashchi 2018, Winslow ym. 2018, Zheng ym. 2018) Myös nämä palavat materiaalit, kuten grafiitti tai erilaiset orgaaniset liuokset, voidaan kierrättää. (Wang ym. 2021)

Tyypillisiä kierrätettäviä materiaaleja NiMH:sta ovat perinteisesti olleet nikkeliä ja rautaa sisältävä metalliseos. Kuitenkin 2000-luvun ensimmäisellä kymmenyksellä myös NiMH:jen sisältämät REE:t ovat herättäneet kiinnostusta ja erilaisia prosesseja niiden kierrättämiseen on suunniteltu. (Gaines 2014, Innocenzi ym. 2017) Tähän on ohjannut harvinaisten maametallien pula ja sen aiheuttama korkea hinta. (Binnemans ym. 2013, Gaines 2014) LIB:jen kierrätyksessä on perinteisesti keskitytty kobolttin, nikkelin ja kuparin kierrätykseen rautakuorten lisäksi. (Liu ym. 2019, Winslow ym. 2018) Nykyisin litiumin ja grafiitin kierrätys herättää kiinnostusta. Näidenkin materiaalien kierrätyksen yleistymistä edistää materiaalipula. (Huang ym. 2018, Swain 2017, Wang ym. 2021) Käytettyjen akkujen hyödynnettävyys ja kierrättäminen -raportin toisessa osassa on laaja taulukko kirjallisuuslähteistä löytyviä LIB:ja ja NiMH:ja kierrätettäviä yrityksiä sekä mitä materiaaleja ne kierrättävät. (Niittyviita 2021)

### 4.2 ALKALI- SEKÄ SINKKIHIILIPARISTOT

Alkali- ja sinkkihiiliparistoja yhdessä kierrättäessä ensiksi erotellaan tyypillisesti rautaa sisältävät kuoret ja muu magneettinen materiaali, jonka jälkeen erotellaan vielä messinki, ei-metalliset materiaalit sekä musta massa (sisältää sinkin ja mangaanin) toisistaan. Mustan massan erottelu tapahtuu usein pyrometallurgisilla tai muilla lämpökäsittelymenetelmillä EU-alueella, mutta myös hydrometallurgisista menetelmistä voidaan käyttää. (Calin ym. 2021, Sadeghi ym. 2020) Lämpökäsittelyissä paristoista eroteltu musta massa käsitellään korkeissa lämpötiloissa, siten että metallit saadaan eroteltua toisistaan joko sulasta tai höyrystämällä. (Sadeghi ym. 2020) Hydrometallurgisissa prosesseissa hyödynnetään emäs- tai happoliuoksia metallien erotteluun. (Calin ym. 2021) Näiden paristojen kierrättäminen ei tyypillisesti ole kannattavaa, mutta ympäristön näkökulmasta kuitenkin vähemmän rasittavaa kuin sinkin ja mangaanin tuotanto neitseellisistä

lähteistä kaivannaisteollisuudella. (Sadeghi ym. 2020) Samaan aikaan myös paristojen, kuten akkujen, kaatopaikkaaminen on kiellettyä EU-alueella ja kierrätys on pakollista. Kaatopaikkaaminen tai polttamalla hävittäminen tuottavat myös ympäristölle vaarallisia päästöjä. (Calin ym. 2021)

### 4.3 LYIJYAKUT

Lähes kaiken lyijyakkujen sisältämän materiaalin voi kierrättää ja hyödyntää lyijyakkujen valmistuksessa. (Gaines 2014) Akkujen sisältämä lyijy ja lyijyoksidi voidaan pyrometallurgisilla käsittelyillä palauttaa alkuperäistä vastaavaan laatuun, ja käyttää uudelleen joko akuissa tai muissa sovelluksissa, kuten säteilysuojauksessa tai rakentamisessa. Akkujen muovikuoret, jotka on valmistettu polypropeenista, voidaan murskauksen ja puhdistuksen jälkeen granuloida ja käyttää uudestaan mm. akkujen kuorten valmistukseen. (Ahmed 1996, Gaines 2014) Kierrätetty polymeerimateriaali on lähes uudenveroista. (Ahmed 1996) Myös PbA:n elektrolyytti, eli rikkihappo, voidaan kierrättää joko suoraan takaisin akkukäyttöön tai tuottamalla siitä neutraloinnin yhteydessä natriumsulfaattia, jota voidaan hyödyntää mm. lasin ja tekstiilien tuotannossa. Rikkihappo saatetaan kuitenkin vain neutraloida ja hävittää, riippuen käytetystä kierrätysprosessista. (Gaines 2014) Jos kaikki edellä mainitut komponentit kierrätetään, jää akuista kierrättämättä hyvin pieni osuus materiaalia, joka koostuu lähinnä separaattorista ja muista materiaaleista, joita akuissa on hyvin vähän (noin 3 %). (Dehghani-Sanij ym. 2019, Kozlov ym. 2015) Siksi PbA:n kierrätyksessä yli 80 % kierrätysasteet ovat tavallisia ja yli 90 % kierrätysasteetkaan eivät ole tavattomia EU-alueella. (Eurostat 2021b)

## 5 LABORATORIOKOKKEET

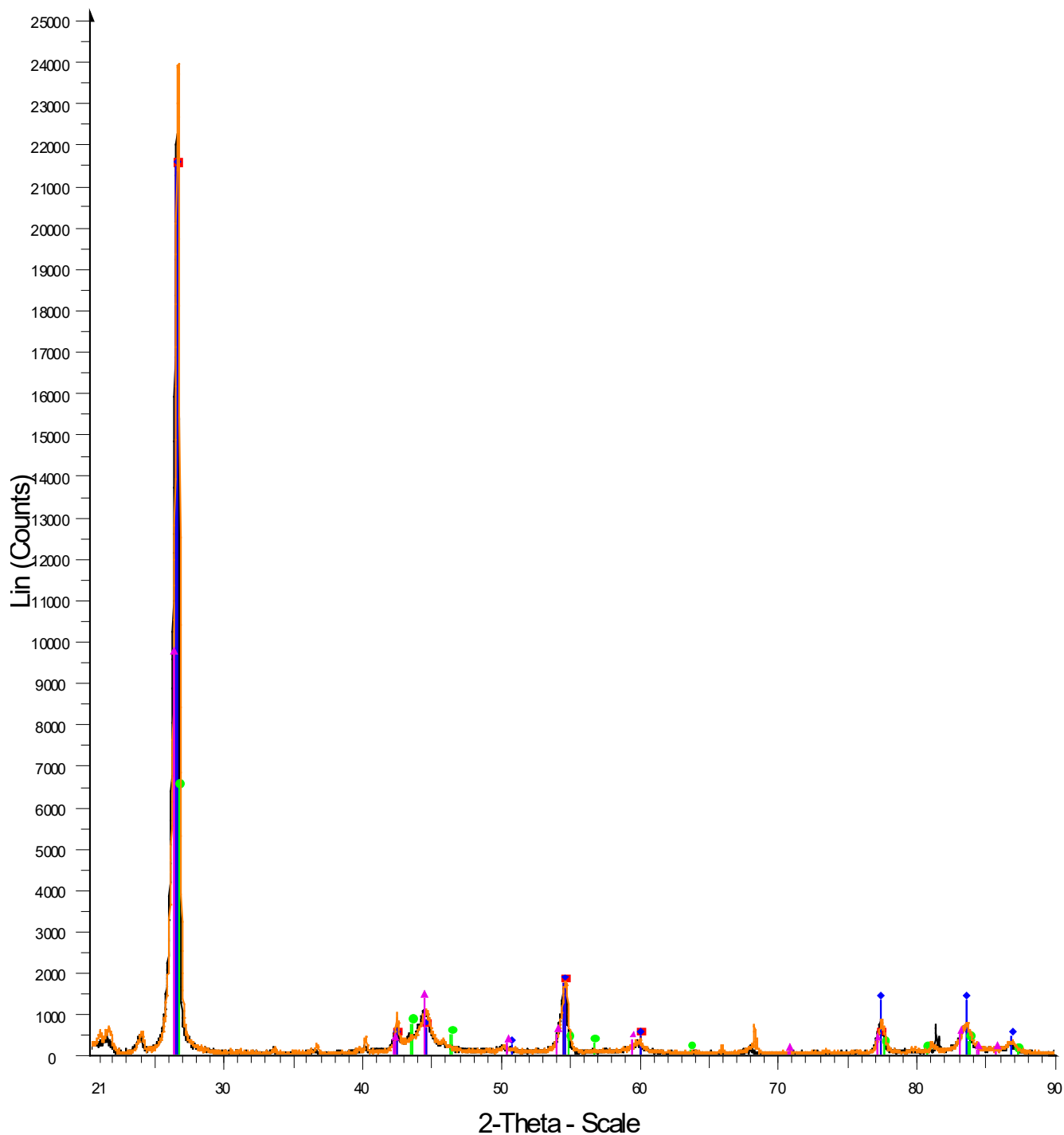
Materiaalikartoituksen yhteydessä suoritettiin laboratoriokokeita kannettavien LIB:jen kierrätysprosesseista saataville materiaaleille. Kokeiden tarkoituksena oli selvittää materiaalien koostumus ja materiaaleihin sisältyvät mahdolliset riskitekijät. Näytteet toimitti Akkuser Oy, yrityksen erillisistä korkea- ja matalakobolttisten LIB:jen käsittelyistä. Näytteet koostuvat erilaisista matala- ja korkeakobolttisista LIB:sta erotelluista mustista massoista. Näytteiden koostumusta tutkittiin induktiivisesti kytketyn plasma-massaspektrometrian (ICP-MS, ion coupled plasma mass spectrometry), ionin-vaihtokromatografiaa (IC, ion chromatography) ja röntgendiffraktografian (XRD, X-ray powder diffractometry) avulla.

TAULUKKO 8. Akkuserin prosessista saatavien litiumioniakkujen eroteltujen mustien massojen koostumukset ICP-MS ja IC analyysien perusteella

| Alkuaine/yhdiste | Matala kobolttinen (m-%) | Korkea kobolttinen (m-%) |
|------------------|--------------------------|--------------------------|
| Alumiini         | 4,0                      | 2,2                      |
| Koboltti         | 5,2                      | 22,2                     |
| Kupari           | 6,1                      | 3,4                      |
| Litium           | 2,5                      | 3,3                      |
| Mangaani         | 8,0                      | 2,8                      |
| Nikkeli          | 9,5                      | 3,9                      |
| Rauta            | 2,3                      | 0,5                      |
| Fosfori          | 0,6                      | 0,4                      |
| Fluoridi         | 0,07                     | 0,08                     |
| Fosfaatti        | 0,13                     | 0,08                     |
| Sulfaatti        | 0,20                     | 0,07                     |

Koostumuksen perusteella voidaan sanoa, että verrattuna yksittäisten kennojen tai akkujen koostumukseen, kierrätys-prosessissa tapahtuvan materiaalijakeiden erottelun seurauksena, eivät tulokset luonnollisesti voi vastata kokonaisten akkujen koostumusta. Analyysien perusteella voidaan kuitenkin todeta, että materiaalien kirjo on odotettu ja massa sisältää materiaaleja ja alkuaineita, joita LIB:ssa oletusarvoisesti esiintyy. Epäpuhtauksia materiaaleissa on hyvin pieniä määriä (tyypillisesti prosentin sadasosia tai vähemmän). Samalla pääkomponenttien määrät vaihtelevat pääasiassa kahden ja kymmenen prosentin välillä. Näytteiden ICP-MS tekniikalla analysoidut koostumukset (kationit) on esitetty Taulukossa 9. Taulukossa ilmoitettujen aineiden lisäksi molemmissa näytteissä esiintyi pieninä pitoisuuksina arseenia, antimonia, bariumia, booria, kadmiumia, kromia, lyijyä, magnesiumia, natriumia, seleeniä, sinkkiä, tinaa ja zirkoniumia. IC-analytiikan avulla tutkittiin mustan massan sisältämiä anioneita. Fosfaattien lisäksi, näytteissä havaittiin fluoria ja sulfaatteja (Taulukko 9), sekä pieniä määriä klooria.



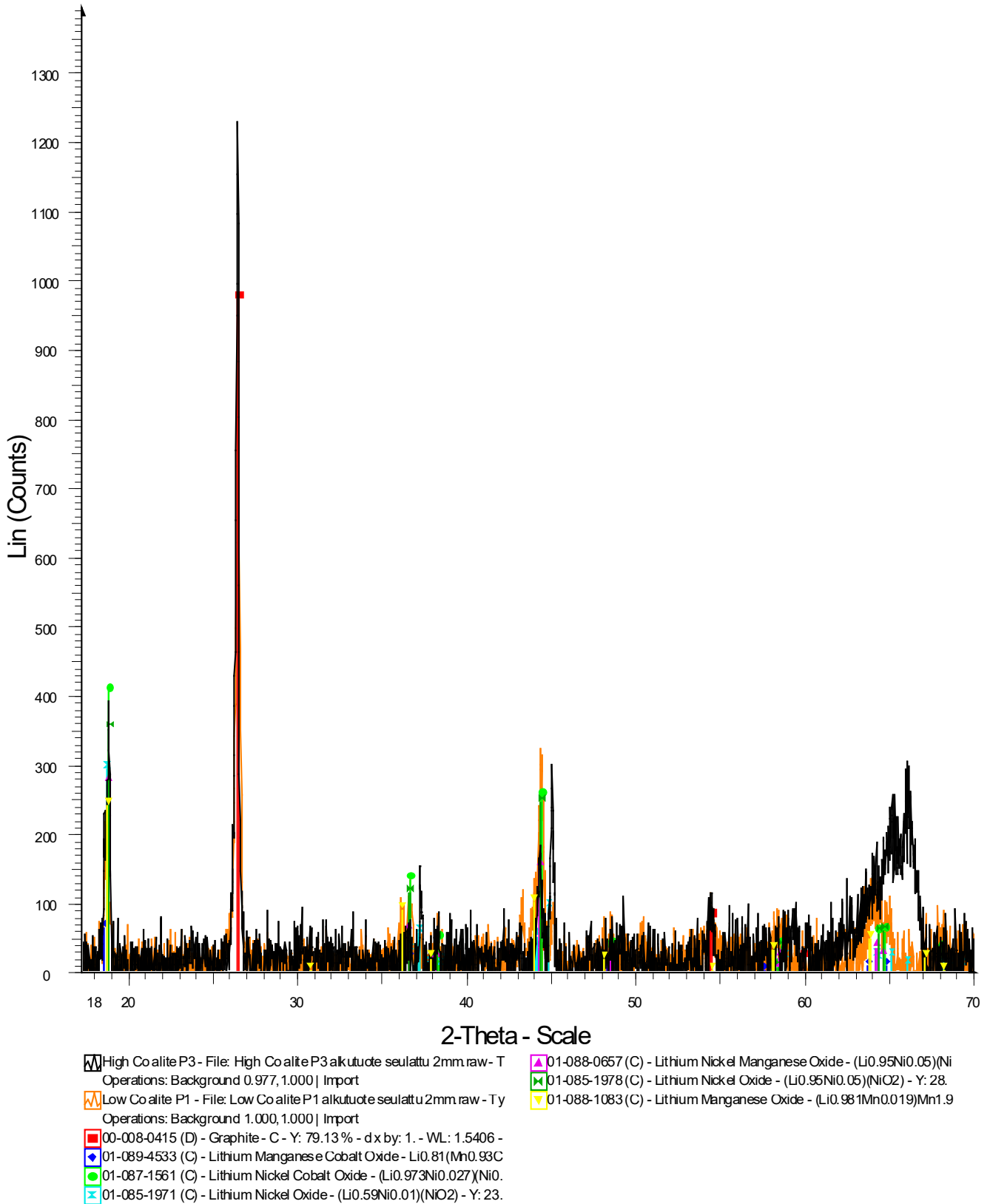


■ Low Co alite uutton sakka - File: LowCo alite KV uutton sakka purkki 3.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 10.000 ° - End: 100.000 ° - Step: 0.020 ° - Ste  
 Operations: Background 0.000,1.000 | Import  
■ Low Co alite uutton sakka - File: LowCo alite KV uutton sakka purkki 4.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 10.000 ° - End: 100.000 ° - Step: 0.020 ° - Ste  
 Operations: X Offset -0.058 | X Offset -0.042 | X Offset -0.025 | Background 0.000,1.000 | Import  
■ 00-008-0415 (D) - Graphite - C - Y: 89.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 2.46400 - b 2.46400 - c 6.73600 - alpha 90.000 - beta 90.000 -  
◆ 00-012-0212 (D) - Graphite - C - Y: 89.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 2.46400 - b 2.46400 - c 6.73600 - alpha 90.000 - beta 90.000 -  
● 01-075-2078 (C) - Graphite - C - Y: 26.93 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.R axes - a 3.63500 - b 3.63500 - c 3.63500 - alpha 39.490 - beta 39.4  
▲ 01-075-1621 (C) - Graphite 2H - C - Y: 40.33 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 2.47000 - b 2.47000 - c 6.79000 - alpha 90.000 - beta 90.00

KUVIO 10. Näytteistä eroteltu liukenemattoman faasin XRD-diffraktogrammi.

Taulukossa ilmoitettujen aineiden lisäksi musta massa sisälsi grafiittia, joka pystyttiin erottamaan näytteiden käsittelyn yhteydessä ja analysoitiin XRD-menetelmällä tunnistusta ja puhtauden arviointia varten (Kuvio 10). Grafiittia sisältävä materiaali muodosti noin 31 % korkeakobolttisesta ja 37% matalakobolttisesta näytteestä. Tämä materiaali XRD-analyysin perusteella muodostuu pääosin grafiitista. XRD-diffraktogrammit (Kuviot 10-11) esittävät eroteltua grafiittia ja kahta mustan massan kokonaisnäytettä (matala- ja korkeakobolttinen). Mustan massan näytteet ovat epähomogeenisia

eikä niiden hienontaminen tasalaatuisiksi ole täydellistä, mikä näkyy diffraktogrammien laadussa. Tasalaatuisuuden parantamiseksi ennen analysointia massasta eroteltiin suuret kiinteät metallipalat. Epähomogeenisuudesta huolimatta Kuvio 11 voidaan nähdä, että materiaalit sisältävät monenlaisia litiumia sisältäviä metallioksidiseoksia katodilta sekä anodilta peräisin olevaa grafiittia.



Kuvio 11. Matala- ja korkeakobolttisten mustien massojen XRD-diffraktogrammit.

## 6 KÄYTETTYJEN AKUJEN JA PARISTOJEN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄT TURVALLISUUSTEKIJÄT

Turvallisuus on perinteisesti ollut hyvä motivaattori akkujen kierrättämisessä ja keräämisessä esimerkiksi kadmiumia ja lyijyä sisältävien akkujen ja paristojen kohdalla. (Dehghani-Sanij ym. 2019, Direktiivi 2006/66/EY) Nykyinen ja tuleva materiaalipula kannustaa kierrättämään nikkeli- ja litiumpohjaisia akkuja. (Blengini ym. 2020, Lebedeva ym. 2016) Samalla erityisesti LIB:t ovat paloriski ja sisältävät haitallisia aineita sekä voivat muodostaa haitallisia hajoamistuotteita. (Sommerville ym. 2020) Samaan tapaan NiMH:t sisältävät ihmisille vaarallisia raskasmetalleja ja emäksisiä liuoksia. (Innocenzi ym. 2017, Rim, Koo & Park 2013, Shin, Kim & Rim 2019) Myös nämä akut tulisi kierrättää niiden turvallisen käsittelyn takaamiseksi.

Kierrättämisellä ja akkujen sekä paristojen kiertotaloudella on merkittävä vaikutus akkuteollisuuden ympäristöystävällisyydelle, kun päästöt, luonnon pilaantuminen kaivostoiminnan sekä vaarallisen jätteen väärinkäsitellyn seurauksena pienenevät. (Calin ym. 2021, Dehghani-Sanij ym. 2019, Golmohammadzadeh ym. 2018, Innocenzi ym. 2017, Sadeghi ym. 2020, Sommerville ym. 2020) Samalla muodostuu myös taloudellista hyötyä, kun yhä vaikeammin saatavat neitseelliset materiaalit pystytään korvaamaan kierrätysmateriaaleilla kierrättämällä jätteitä, jotka voivat olla kaivannaisia rikkaampia ja puhtaampia materiaalin lähteitä. (Hua ym. 2020, Huang ym. 2018, Meshram ym. 2014, Xu ym. 2008) Ympäristöriskien vähentämisen lisäksi, riskit terveydelle lievenevät, kun haitallisia metalleja ja muita materiaaleja sekä palo- ja räjähdysriskejä sisältävä materiaalivirta kierrätetään. (Sadeghi ym. 2020, Sommerville ym. 2020) Taulukossa 8 on eritetty erilaisten akkutyypin sisältämiä kemiallisia riskitekijöitä. (Dehghani-Sanij ym. 2019, Gaines 2014, Innocenzi ym. 2017, Kozlov ym. 2015, Meshram, Mishra, Abhilash & Sahu 2020, Ordoñez ym. 2016, Rim ym. 2013, Sadeghi ym. 2020, Shin ym. 2019, Sommerville ym. 2020, Swain 2017, Xu ym. 2008) Näiden lisäksi niin litiumparistot, LIB:t, kuin myös NiMH:t ovat paloriski näitä akkuja ja paristoja käsiteltäessä, niiden sisältämien materiaalien ja jäännösjännitteiden vuoksi. (Dehghani-Sanij ym. 2019, Liu ym. 2019, Sommerville ym. 2020, Xu ym. 2008)

TAULUKKO 9. Akku- ja paristotyyppien riski- ja vaaratekijöitä

| Akku tai paristo   | Raskasmetallit         | Syövyttävät aineet             | Muut vaaralliset aineet (1) tai hajoamistuotteet (2)   | Lähde  |
|--------------------|------------------------|--------------------------------|--|--|
| Alkali-paristo     | Mn                     | KOH                            | 1) muovi   | (Dehghani-Sanij ym. 2019, Meshram ym. 2020)                                |
| Sinkkihiiliparisto | Mn                     |                                | 1) NH <sub>4</sub> Cl  | (Meshram ym. 2020, Sadeghi ym. 2020)                                       |
| Litiumparisto      |                        |                                | 2) H <sub>2</sub>  | (Dehghani-Sanij ym. 2019)  |
| PbA                | Pb                     | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 1) muovi   | (Gaines 2014, Kozlov ym. 2015)   |
| LIB                | Co, Cu, Mn, Ni         |                                | 1) muovi, orgaaniset liuottimet, LiPF <sub>6</sub> , LiBF <sub>4</sub><br>2) HF, PF <sub>5</sub> , COS, styreeni, bisfenyyli, akroleiini | (Meshram ym. 2020, Sommerville ym. 2020, Swain 2017, Xu ym. 2008)          |
| NiCd               | Cd, Ni                 |                                |  | (Dehghani-Sanij ym. 2019)  |
| NiMH               | Ni, Co, La, Ce, Mn, Nd | KOH                            | 1) muovi   | (Dehghani-Sanij ym. 2019, Innocenzi ym. 2017, Rim ym. 2013, Shin ym. 2019) |

Laboratoriokokeet tukevat tunnettuja kirjallisuudessa esitettyjä riskitekijöitä LIB:hin liittyen. Näytteet sisälsivät odotetusti useita raskasmetalleja (nikkeli, mangaani, kupari, koboltti), litiumia sekä fluoria, mutta myös pieniä pitoisuuksia mm. lyijyä, kadmiumia, bariumia, antimonia ja arseenia, jotka ovat myös haitallisia raskasmetalleja. Pitoisuudet ovat kuitenkin näiden muiden raskasmetallien kohdalla pieniä, mutta on hyvä silti ottaa huomioon mm. kierrättyksessä ja kierrätysmateriaalien kanssa työskennellessä, myös mekaanisen käsittelyn jälkeen, että materiaali sisältää vielä monipuolisesti erilaisia terveysriskejä.

## 7 YHTEENVETO

Akuissa ja paristoissa on runsaasti kierrätettäviä sekä arvokkaita materiaaleja ja aineita, jotka voidaan palauttaa kiertoon akuissa tai muissa käyttökohteissa uudelleen käytettäväksi. (Blengini ym. 2020, Dunn ym. 2012, Gaines ym. 2011, Gaines 2014, Golubkov ym. 2014, Hua ym. 2020, Huang ym. 2018, Kozlov ym. 2015, Lin ym. 2016, Liu ym. 2019, Meshram ym. 2014, Meshram ym. 2019, Richa ym. 2014a, Wang ym. 2016) Nämä materiaalit tulisi palauttaa käyttöön ympäristö- ja terveyshaittojen minimoimiseksi. (Calin ym. 2021, Dehghani-Sanij ym. 2019, Golmohammadzadeh ym. 2018, Innocenzi ym. 2017, Sadeghi ym. 2020, Sommerville ym. 2020) EU-alueella akkujen ja paristojen kierrätys on pakollista, joten akuista tulisi pyrkiä saamaan kaikki mahdollinen hyöty, ja tämä on myös tahtotila lainsäädännössä. (Calin ym. 2021) Akkuja ja paristoja on kuitenkin runsaasti erilaisia, joten myös niiden sisältämät materiaalit poikkeavat toisistaan niin ominaisuuksiltaan, kuin arvoltaan. Eri akuista ja paristoista muodostuva akku- ja paristojätevirta on koostumukseltaan jatkuvasti muutoksen alainen yhteiskunnan sähköistyessä ja siirtyessä enenevissä määrin akkujen käyttöön. (Dehghani-Sanij ym. 2019) Merkittävä muutos lähitulevaisuudessa koko akkujätteen kannalta tulee olemaan kasvava suurien LIB:jen sekä NiMH:jen määrä akkujätteessä ensimmäisten täyssähkö- ja hybridiautojen akkujen poistuessa käytöstä suurimittaisesti. Nämä runsaasti tarpeellista materiaalia sisältävät akut ovat yhtä lailla mahdollisuus, kuin haaste EU-alueelle.

Vaikka akkujen ja akustojen koostumuksista on saatavilla tutkimustietoa, ei varsinaisista kierrätykseen päätyvistä erilaisista seoksista, joita kierrätyksessä käytännössä käsitellään, ole saatavilla sitä juurikaan. Tietoa tästä pyrittiin lisäämään raporttiin liittyvien laboratoriokokeiden kautta. Laboratoriokokeiden perusteella voidaan todeta materiaalieseosten käytetyn jaottelun perusteella (matala- ja korkeakobolttiset LIB:t) sisältävän samat alkuaineet erilaisina suhteina. Tällaisella erotelulla saadaan aikaiseksi runsaasti kobolttia sisältävä jae (korkeakobolttisesta materiaalista), sekä sekalaisempi jae, jossa on runsaasti nikkeliä ja mangaania (matalakobolttisesta materiaalista). Jakoperuste kuitenkin lisää materiaalikirjoa kierrätysmassassa verrattaessa sitä yksittäiseen katodimateriaaliin tai katodimateriaalin omaavaan kennoon. Jakeet eroavat kuitenkin toisistaan selkeästi ja niitä voidaan siten potentiaalisesti hyödyntää eri käyttökohteissa.

Nyt ja tulevaisuudessa kasvava jätemäärä tuo haasteensa myös kierrätyksen kapasiteetin riittävydestä, mutta EU-alueen omavaraisuuden ja materiaaliresilienssin kannalta niin sähköautojen, kuin muidenkin akkujen sekä paristojen kierrätys on mahdollisuus vähentää riippuvuutta alueen ulkopuolisista toimijoista, luoda kestävää akkujen kierotaloutta sekä työtä, ja vähentää akkutuoannosta aiheutuvaa luontotuhoa. (Blengini ym. 2020, Calin ym. 2021, Dehghani-Sanij ym. 2019, Golmohammadzadeh ym. 2018, Haram ym. 2021, Hua ym. 2021, Huang ym. 2018, Innocenzi ym. 2017, Lebedeva ym. 2016, Sadeghi ym. 2020, Sommerville ym. 2020) Akuista on saatavilla kirjo erilaisia materiaaleja, joista monia myös kierrätetään enemmän tai vähemmän jo nyt. Alumiini, kadmium, koboltti, kupari, rauta, mangaani, nikkeli, lyijy, sinkki, litium, harvinaiset maametallit, grafiitti, muovi ja elektrolyytit (epäorgaanisia ja orgaanisia suolaliuoksia) ovat kaikki akkujen sisältämiä materiaaleja, jotka voidaan hyödyntää uudelleen kierrätyksen kautta. (Dehghani-Sanij ym. 2019, Dunn ym. 2012, Gaines ym. 2011, Gaines 2014, Golubkov ym. 2014, Hua ym. 2020, Huang ym. 2018, Kozlov ym. 2015, Lin ym. 2016, Liu ym. 2019, Meshram ym. 2014, Meshram ym. 2019, Richa ym. 2014a, Sadeghi ym. 2020, Wang ym. 2016) Akuissa on siis kaiken kaikkiaan paljon potentiaalia sekundaarisena materiaalien lähteenä monille eri aloille ja käyttökohteille. (Blengini ym. 2020, Gaines 2014, Hua ym. 2020, Huang ym. 2018, Liu ym. 2019, Meshram ym. 2014)

## LÄHDELUETTELO

AHMED, F., 1996. The battery recycling loop: a European perspective. *Journal of Power Sources*, 59(1), ss. 107-111.

AKKUSER, 2021. Akkuser kotisivut. Saatavissa: <https://www.akkuser.fi>. Viitattu 15.6.2021.

ASSEFI, M., MAROUFI, S., YAMAUCHI, Y. & SAHAJWALLA, V., 2020. Pyrometallurgical recycling of Li-ion, Ni-Cd and Ni-MH batteries: A minireview. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 24, ss. 26-31.

BINNEMANS, K., JONES, P.T., BLANPAIN, B., VAN GERVEN, T., YANG, Y., WALTON, A. & BUCHERT, M., 2013. Recycling of rare earths: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 51, ss. 1-22.

BLENGINI, G.A., EL LATUNUSSA, C., EYNARD, U., TORRES DE MATOS, C., WITTMER, D., GEORHITZIKIS, K., PAVEL, C., CARRARA, S., MANCINI, L., UNGURU, M., BLAGOEVA, D., MATHIEUX, F. & PENNINGTON, D., 2020. Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020) Final Report.

CALIN, L., CATINEAN, A., BILICI, M. & SAMUILA, A., 2021. A corona-electrostatic technology for zinc and brass recovery from the coarse fraction of the recycling process of spent alkaline and zinc-carbon batteries. *Journal of Cleaner Production*, 278, ss. 123477-123486.

CERDAS, F., TITSCHER, P., BOGNAR, N., SCHMUCH, R., WINTER, M., KWADDE, A. & HERRMANN, R., 2018. Exploring the Effect of Increased Energy Density on the Environmental Impacts of Traction Batteries: A Comparison of Energy Optimized Lithium-Ion and Lithium-Sulfur Batteries for Mobility Applications. *Energies*, 11, ss. 150-169.

DEHGHANI-SANIJ, A.R., THARUMALINGAM, E., DUSSEAUULT, M.B. & FRASER, R., 2019. Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries. *Renewable & sustainable energy reviews*, 104, ss. 192-208.

DIREKTIIVI 2006/66/EY. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0066&from=EN>. Viitattu 15.6.2021.

DUNN, J.B., GAINES, L., BARNES, M., SULLIVAN, J., & WANG, M., 2012. Materials and energy flow in automotive LiB manufacturing. Yhdysvallat. Argonne National Laboratory. Saatavissa: <https://doi.org/10.2172/1044525>

ELWERT, T., GOLDMANN, D., RÖMER, F., BUCHERT, M., MERZ, C., SCHUELER, D. & SUTTER, J., 2015. Current Developments and Challenges in the Recycling of Key Components of (Hybrid) Electric Vehicles. *Recycling*, 1(1), ss. 25-60.

EUROSTAT, 2021a. Waste statistics - recycling of batteries and accumulators. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics\\_-\\_recycling\\_of\\_batteries\\_and\\_accumulators](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_recycling_of_batteries_and_accumulators). Viitattu 9.12.2021

EUROSTAT, 2021b. Waste statistics - recycling of batteries and accumulators. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_WASBAT/default/table?lang=en&category=env.env\\_was.env\\_wasst](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASBAT/default/table?lang=en&category=env.env_was.env_wasst). Viitattu 8.12.2021

EUROSTAT, 2022. Who we are. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/about/who-we-are>. Viitattu 19.1.2022

GAINES, L., 2014. The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, 1-2(C), ss. 2-7.

GAINES, L., 2018. Lithium-ion battery recycling process: Research towards a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, 17, ss. e00068-e00074.

GAINES, L., SULLIVAN, J., BURNHAM, A. & BELHAROUAK, I., 2011. Life-Cycle Analysis for Lithium-Ion Battery Production and Recycling Environmental Assessment of Geothermal Power Production View project Li-Ion Battery Recycling View project. *Transportation Research Record*, 2252 (1), ss. 57-65.

GOLMOHAMMADZADEH, R., FARAJI, F. & RASHCHI, F., 2018. Recovery of lithium and cobalt from spent lithium ion batteries (LIBs) using organic acids as leaching reagents: A review. *Resources, Conservation & Recycling*, 136, ss. 418-435.

GOLUBKOV, A.W., FUCHS, D., WAGNER, J., WILTSCHE, H., STANGL, C., FAULER, G., VOITIC, G., THALER, A. & HACKER, V., 2014. Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. *RSC advances*, 4(7), ss. 3633-3642.

HARAM, M. H. S. M., LEE, J.W., RAMASAMY, G., NGU, E.E., THIAGARAJAH, S.P. & LEE, Y.H., 2021. Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges. *Alexandria Engineering Journal*, 60, ss. 4517-4536.

HUA, Y., LIU, X., ZHOU, S., HUANG, Y., LING, H. & YANG, S., 2021. Toward Sustainable Reuse of Retired Lithium-ion Batteries from Electric Vehicles. *Resources, Conservation & Recycling*, 168, ss. 105249-105260.

HUA, Y., ZHOU, S., HUANG, Y., LIU, X., LING, H., ZHOU, X., ZHANG, C. & YANG, S., 2020. Sustainable value chain of retired lithium-ion batteries for electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 478, ss. 228753-228768.

HUANG, B., PAN, Z., SU, X. & AN, L., 2018. Recycling of lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives. *Journal of Power Sources*, 399, ss. 274-286.

ILONEN, T. 2021. Recser Oy:n litiumioniakkujen ja nikkelimetallihydriidien keräysmäärät Suomessa. Yksityinen sähköposti. 5.2.2021-24.11.2021. Viestinsaja Emilia Niittyviita.

INNOCENZI, V., IPPOLITO, N.M., DE MICHELIS, I., PRISCIANDARO, M., MEDICI, F. & VEGLIÒ, F., 2017. A review of the processes and lab-scale techniques for the treatment of spent rechargeable NiMH batteries. *Journal of Power Sources*, 362, ss. 202-218.

KARJALAINEN, T. 2020. Litiumioniakkujen ja nikkelimetallihydriidien kierrätysmäärät Akkuser Oy:ssä. Yksityinen sähköposti. 19.02.2021-10.12.2021. Viestinsaja Emilia Niittyviita.

KOMMISSION EHDOTUS COM(2020) 798 final. Saatavissa: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:4b-5d88a6-3ad8-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0008.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:4b-5d88a6-3ad8-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0008.02/DOC_1&format=PDF). Viitattu 15.6.2021.

KOZLOV, A.V., TERENCEENKO, A.S. & KARPUKHIN, K.E., 2015. Comparative Analysis of Different Types of Energy Storage Devices for Motor Vehicles with Regard to their Total Life Cycle. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 12(2), ss. 1145-1150.

LAI, X., HUANG, Y., DENG, C., GU, H., HAN, X., ZHENG, Y. & OUYANG, M., 2021. Sorting, regrouping, and echelon utilization of the large-scale retired lithium batteries: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, ss. 111162-111182.

LEBEDEVA, N., PERSIO, F.D. & BOON-BRETT, L. 2016. Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe. Alankomaat. JRC Science Hub. JRC Science for Policy Report. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc105010\\_161214\\_li-ion\\_battery\\_value\\_chain\\_jrc105010.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc105010_161214_li-ion_battery_value_chain_jrc105010.pdf). Viitattu 29.10.2021

LIN, S.-L., HUANG, K.-L., WANG, I.-C., CHOU, I.-C., KOU, Y.-M., HUNG, C.-H. & LIN, C., 2016. Characterization of spent nickel-metal hydride batteries and a preliminary economic evaluation of the recovery processes. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(3), ss. 296-306.

LIU, C., LIN, J., CAO, H., ZHANG, Y. & SUN, Z., 2019. Recycling of spent lithium-ion batteries in view of lithium recovery: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 228, ss. 801-813.

MESHARAM, P., ABHILASH & PANDEY, B.D., 2019. Advanced Review on Extraction of Nickel from Primary and Secondary Sources. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 40(3), ss. 157-193.

MESHARAM, P., MISHRA, A., ABHILASH & SAHU, R., 2020. Environmental impact of spent lithium ion batteries and green recycling perspectives by organic acids – A review. *Chemosphere*, 242, ss. 125291-125306.

MESHARAM, P., PANDEY, B.D. & MANKHAND, T.R., 2014. Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: A comprehensive review. *Hydrometallurgy*, 150, ss. 192-208.

MOSSALI, E., PICONE, N., GENTILINI, L., RODRÌGUEZ, O., PÉREZ, J.M. & COLLEDANI, M., 2020. Lithium-ion batteries towards circular economy: A literature review of opportunities and issues of recycling treatments. *Journal of Environmental Management*, 264, ss. 110500-110511.

- NIITTYVIITA, E., 2021. Käytettyjen akkujen hyödynnettävyys ja kierrättäminen Osa 2. Sähköautojen ajovoima-akkujen kierrätysmenetelmät. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20220111803>. Viitattu 11.1.2022
- ORDOÑEZ, J., GAGO, E.J. & GIRARD, A., 2016. Processes and technologies for the recycling and recovery of spent lithium-ion batteries. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 60, ss. 195-205.
- PARISTOKIERRÄTYS, 2021a. Mitä palautetuille paristoille ja akuille tapahtuu? Saatavissa: <https://www.paristokierratys.fi/nain-kierratat/kierratysprosessi/>. Viitattu 16.12.2021
- PARISTOKIERRÄTYS, 2021b. Tilastotietoa paristojen ja akkujen kierrätyksestä (2020). Saatavissa: <https://www.paristokierratys.fi/paristokierratys/tilastotietoa/>. Viitattu 16.12.2021
- PARK, J (ed.) 2012, *Principles and Applications of Lithium Secondary Batteries*, John Wiley & Sons, Incorporated, Weinheim. Saatavissa: <https://ebookcentral.proquest.com>. Viitattu 15.6.2021.
- RICHA, K., BABBITT, C.W., GAUSTAD, G. & WANG, X., 2014a. A future perspective on lithium-ion battery waste flows from electric vehicles – Supplementary materials. *Resources, conservation and recycling*, 83, liitteet.
- RICHA, K., BABBITT, C.W., GAUSTAD, G. & WANG, X., 2014b. A future perspective on lithium-ion battery waste flows from electric vehicles. *Resources, conservation and recycling*, 83, ss. 63-76.
- RIM, K.T., KOO, K.H. & PARK, J.S., 2013. Toxicological Evaluations of Rare Earths and Their Health Impacts to Workers: A Literature Review. *Safety and Health at Work*, 4(1), ss. 12-26.
- SADEGHI, S.M., JESUS, J. & SOARES, H.M.V.M., 2020. A critical review of the hydrometallurgical routes for recycling zinc and manganese from spent zinc-based batteries. *Waste Management*, 113, ss. 342-350.
- SHIN, S., KIM, H. & RIM, K., 2019. Worker Safety in the Rare Earth Elements Recycling Process From the Review of Toxicity and Issues. *Safety and Health at Work*, 10(4), ss. 409-419.
- SOMMERVILLE, R., SHAW-STEWART, J., GOODSHIP, V., ROWSON, N. & KENDRICK, E., 2020. A review of physical processes used in the safe recycling of lithium ion batteries. *Sustainable Materials and Technologies*, 25, ss. e00197- e00207.
- SWAIN, B., 2017. Recovery and recycling of lithium: A review. *Separation and Purification Technology*, 172, ss. 388-403.
- TRACEGROW, 2021. Home. Saatavissa: <https://www.tracegrow.com>. Viitattu 9.11.2021.
- WANG, W. & WU, Y., 2017. An overview of recycling and treatment of spent LiFePO<sub>4</sub> batteries in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, ss. 233-243.
- WANG, X., GAUSTAD, G. & BABBITT, C.W., 2016. Targeting high value metals in lithium-ion battery recycling via shredding and size-based separation. *Waste management (Elmsford)*, 51, ss. 204-213.
- WANG, Y., AN, N., WEN, L., WANG, L., JIANG, X., HOU, F., YIN, Y. & LIANG, J., 2021. Recent progress on the recycling technology of Li-ion batteries. *Journal of Energy Chemistry*, 55, ss. 391-419.
- WINSLOW, K.M., LAUX, S.J. & TOWNSEND, T.G., 2018. A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, ss. 263-277.
- XU, J., THOMAS, H.R., FRANCIS, R.W., LUM, K.R., WANG, J. & LIANG, B., 2008. A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries. *Journal of Power Sources*, 177(2), ss. 512-527.
- YMPARISTO.FI, 2022. Akkujen ja paristojen tuottaja vastuu. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Jatteet\\_ja\\_jatehuolto/Tuottajavastuu/Akut\\_ja\\_paristot](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Jatteet_ja_jatehuolto/Tuottajavastuu/Akut_ja_paristot). Viitattu 19.1.2022
- ZHENG, X., ZHU, Z., LIN, X., ZHANG, Y., HE, Y., CAO, H. & SUN, Z., 2018. A Mini-Review on Metal Recycling from Spent Lithium Ion Batteries. *Engineering*, 4(3), ss. 361-370.

## Akkujen ja paristojen koostumus

# MATERIAALIKARTOITUS - AKKUJEN JA PARISTOJEN POTENTIAALI MATERIAALILÄHTENÄ

koostumusta ja siten potentiaalia materiaalin lähteenä akkujen kiertotaloudessa. Selvitys on tarkoitettu lisämateriaaliksi kolmiosaiselle akkujen kierrätykseen ja uudelleenhyödyntämiseen keskittyvälle raporttisarjalle (Käytettyjen akkujen hyödynnettävyys ja kierrättäminen). Kartoituksessa käydään läpi yleisesti käytössä olevien akkujen ja paristojen materiaali-koostumuksia, niiden keräys- ja kierrätysmääriä sekä näiden toimintojen tehokkuutta. Raportissa tutustutaan samalla siihen, mitä akuista ja paristoista nykyään kierrätetään. Selvitys sisältää litiumioniakkujen kierrätysmateriaaliin liittyvien materiaalikartoitukseen sisältyvien laboratoriokokeiden tulokset. Laboratoriokokeissa selvitettiin mekaanisesti käsitellyistä litiumioniakuista saatavia kierrätysjakeita. Selvitys pyrki muodostamaan kuvan siitä, millaisia määriä erilaisia akkuja ja paristoja ja edelleen niistä eroteltavia materiaaleja on EU-alueella tarjolla. Tämä selvitys on tehty osana Battery Recycle Akkupuisto -hanketta.

Centria. Raportteja ja selvityksiä 2342-933X, Nro 52  
ISBN 978-952-7173-62-6  
ISSN 2342-933X, 52