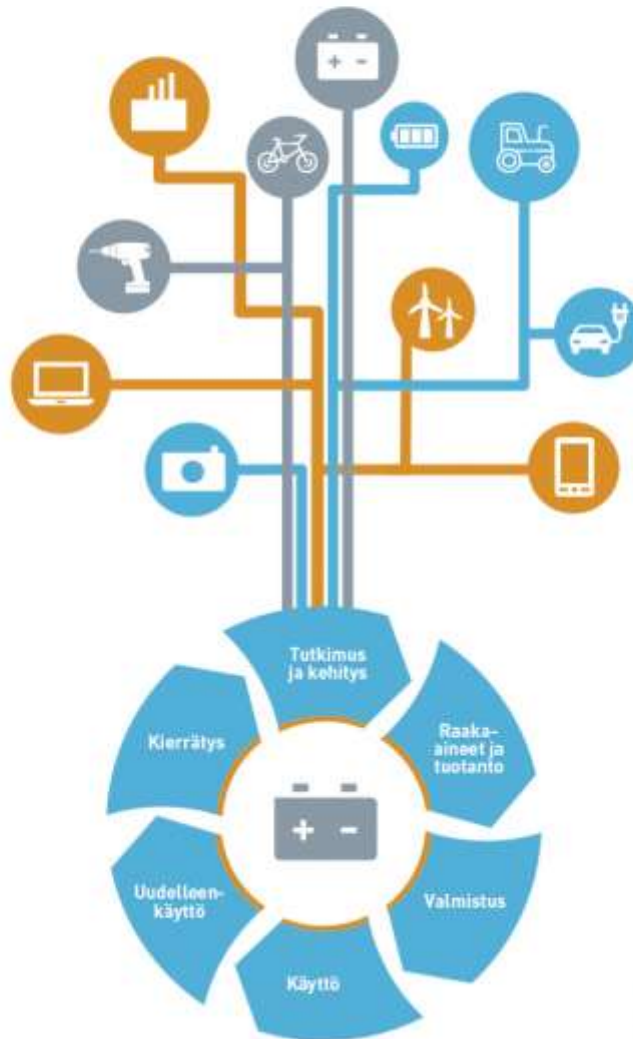




Yhdessä kohti tuottavaa kiertotaloutta



Akkuekosysteemi - nykytilaselvitys

Johanna Valio

Pirkanmaan liitto

10.6.2019

Sisällysluettelo

1	Taustaa	3
2	Akkutyypit ja -materiaalit	4
2.1	Erilaisia akkujen ja paristojen luokituksia	4
2.2	Akkutyypit materiaaleittain	5
2.3	Litiumioniakut	8
2.4	Muista akuista ja tulevaisuuden näkymistä	26
3	Akkuihin liittyviä strategisia linjauksia, ohjelmia, poliittisia päätöksiä ja lainsäädäntöä	28
4	Akkuekosysteemin toimijoita Suomessa	31
4.1	Raaka-aineet ja valmistus	31
4.2	Maahantuonti	33
4.3	Käyttö ja käyttöpalvelut	33
4.4	Keräys, kuljetus ja kierrätys	37
4.5	Akkuihin liittyviä viranomaisia Suomessa	44
5	Läheisesti akkuihin ja niiden käyttöön liittyviä hankkeita, verkostoja ja ajankohtaisia aloitteita	45
5.1	Akkuraaka-aineet ja akkujen valmistus	45
5.2	Kiertotalous ja kierrätys	45
5.3	Energian varastointi ja integrointi	45
5.4	Akkujen käyttö	45
5.5	Muita hankkeita ja ohjelmia	45
Liite 1	47
	Raaka-aineet	47
	Valmistus	48
	Maahantuonti	49
	Käyttö ja käyttöpalvelut	49
	Keräysjärjestelmät	51
	Kierrätys	52
	Yksityisiä tutkimuslaitoksia ja konsulttifirmoja	53
	Akkuihin liittyviä verkostoja	53
Liite 2	54
	Yhteenvedo akkuraaka-aineiden tuotantomääristä	54

1 Taustaa

Akkukäyttöiset sovellukset yleistyvät nopeasti niin teollisuudessa kuin kuluttajien keskuudessa. Akut ovat tärkeässä roolissa sekä liikennesektorin että energia-alan murroksessa. Jo ennestään pienempiä akkuja ja paristoja on käytetty lukuisissa arjen sovelluksissa. Sähköautojen yleistyminen ja erilaisten työkoneiden sähköistyminen edellyttävät uudenlaisia akkuratkaisuja. Sähkön varastointi taas on oleellinen osa uusiutuvan energian käyttöä sekä joustavia ja älykkäitä energiajärjestelmiä.

Tämä nykytilaselvitys on tehty osana Tulevaisuuden akkuekosysteemi -hanketta. Ensimmäinen versio julkaistiin kesäkuussa 2018. Koska 'akkukentässä' on tapahtunut muutoksia vuoden aikana ja toisaalta tieto ja ymmärrys akuista ja niihin liittyvistä ilmiöistä on lisääntynyt hankkeen aikana, päätettiin selvityksestä julkaista vielä toinen, päivitetty versio keväällä 2019. Päivityksen yhteydessä selvitykseen on mm. lisätty tietoa akkujen uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä sekä akkujen ja akkumateriaalien kysyntäennusteista ja niihin vaikuttavista tekijöistä sekä avattu akkuihin liittyvää termistöä. Selvitykseen on myös mahdollisuuksien mukaan lisätty ehdotuksia akkuihin liittyvistä tietolähteistä, joista ajantasaista tietoa voi löytää.

Lukuun 2 on koottu tietoa akuista, akkumateriaaleista, akkumarkkinoista ja kierrätyksestä globaalista näkökulmasta. Tietolähteenä on käytetty lähinnä tiedonhakua verkosta.

Lukuihin 3, 4 ja 5 on koottu tietoa akkuihin liittyvästä toimintaympäristöstä Suomessa: eri elinkaaren vaiheisiin liittyvistä toimijoista, akkuihin liittyvistä hankkeista sekä meillä vaikuttavista strategioista ja lainsäädännöstä. Verkkotiedonhaun lisäksi selvitystä varten haastateltiin keväällä 2018 akkuihin liittyviä toimijoita (noin 15) eri aloilta: mm. tuottajavastuuvollisten, kierrätyksen, akkuihin liittyvän tutkimuksen, kaupunkien ja viranomaisten edustajia. Haastattelujen tarkoituksena oli saada käytännön tietoa toimijoista sekä akkuihin ja niiden käyttöön sekä akkusovellusten käyttöön liittyvistä haasteista eri näkökulmista katsottuna. Haastatteluilla kerättiin myös esitietoa mahdollisista akkuihin liittyvistä liiketoiminta- ja pilotti-ideoista sekä tietotarpeista. Haastattelujen lisäksi tietoa kerättiin myös osallistumalla erilaisiin seminaareihin.

Helsingissä/Tampereella kesäkuussa 2019

Johanna Valio

2 Akkutyypit ja -materiaalit

2.1 Erilaisia akkujen ja paristojen luokituksia

Luokitus lainsäädännössä

EU:n paristo- ja akkudirektiivin (2006/66/EY) sekä kansallisen lainsäädännön mukaan akut ja paristot jaotellaan kolmeen luokkaan pääkäyttötarkoituksen mukaan:

- kannettaviin akkuihin ja paristoihin
- ajoneuvoakkuihin ja -paristoihin sekä
- teollisuusakkuihin ja -paristoihin.

Luokituksella on vaikutusta mm. akkujen ja paristojen tuottajavastuun järjestämiseen.

Kannettavia akkuja ja paristoja sekä niiden käyttökohteita on lukuisia ja kooltaan ja tarkoitukseltaan ne vaihtelevat kertakäyttöisistä nappiparistoista kännyköiden ja tietokoneiden akkuihin. Direktiivin määritelmän mukaan kannettavat akut ja paristot ovat suljettuja ja niitä voidaan kantaa käsin.

Ajoneuvoakkuja ovat ajoneuvojen käynnistyksessä, valaistuksessa tai sytytyksessä käytettävät paristot ja akut kuten autojen lyijypohjaiset käynnistysakut.

Teollisuusakkuja ja -paristoja ovat yksinomaan teollisuus- tai ammattikäyttöön suunnitellut ja sähköajoneuvoissa käytettävät paristot ja akut kuten tai sähköautojen ajovoima-akut, stationääriset energian varastointiin tarkoitetut akut sekä erilaiset kuluttajasovelluksissa käytettävät pienteollisuusakut, kuten sähköpyörien ja muiden erilaisten kevyiden sähköisten ajoneuvojen akut.

Paristot ja akut

Paristot ovat kertakäyttöisiä akkuja eli niin kutsuttuja primääriparistoja: niiden lataus voidaan purkaa vain kerran. Vuonna **2016 primääriparistot muodostivat 89 prosenttia kaikista Euroopassa markkinoille tulleista akuista kappalemäärän mukaan ja noin 66 prosenttia painon mukaan**. Enemmistö irrallaan myytävistä paristoista on sinkkihiili- tai alkaliparistoja, mutta myös litiumparistoja ja hopeaoksidiparistoja käytetään.¹

Akut voidaan purkaa ja ladata monta kertaa. Mahdollisten lataus-purku-kertojen määrä vaihtelee akkutyyppin ja akun käyttötapojen mukaan. Esimerkiksi litiumioniakkujen lataus-purku-kertojen määrää voidaan lisätä moninkertaiseksi käyttämällä kapeaa lataus-purku-aluetta sen sijaan, että akun annetaan tyhjentyä kokonaan ja se ladataan aivan täyteen.² Joissakin sovelluksissa, kuten starttiakuissa tämä ajatus toteutuu luonnostaan – kukaan ei halua tyhjentää akkua kokonaan tarkoituksella. Pienempien sovellusten kohdalla, kuten älypuhelimisissa ja tietokoneissa käyttäjä voi itse vaikuttaa lataustapoihin ja pidentää näin akun käyttöikä.

Kennosta akkupakettiin

Kenno on 'pienin toiminnallinen sähkökemiallinen yksikkö'. Se koostuu kahdesta elektrodista, näiden erottajasta, elektrolyytistä, kuoresta ja positiivisesta ja negatiivisesta navasta. Kennot voivat olla rakenteeltaan esim. nappeja, lieriöitä, prismaattisia tai taskukennoja. Rakenne vaikuttaa jonkin verran kennossa käytettyihin materiaaleihin ja näiden paino-osuuteen.

¹ <https://www.epbaeurope.net/wp-content/uploads/2018/03/Report-on-the-portable-battery-collection-rates-Update-Dec-17.pdf>

² http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries

Akku/paristo koostuu yhdestä tai useammasta toisiinsa kytketystä kennosta. Sähköauton (tai ladattavan hybridin) akkupaketti koostuu useista osista: useita kymmeniä (tai satoja) kennoja kytketään sähköisesti ja mekaanisesti yhteen moduuleiksi, jotka kootaan akkupaketiksi. Akkupakettiin kuuluvat lisäksi lämmönhallintajärjestelmä, kennojen monitorointijärjestelmä sekä kontrollielektroniikka. Kennot muodostavatkin tällä hetkellä arviolta vain noin puolet akkupaketin painosta. Eri autonvalmistajien käyttämät akkupaketit vaihtelevat rakenteeltaan.³

2.2 Akkutyypit materiaaleittain

Merkittävimmät ladattavien akkujen tyypit materiaalin mukaan luokiteltuna ovat tällä hetkellä lyijyakut (Pb), litiumioniakut (Li), nikkelimetallihydridiakut (NiMH) sekä nikkelikadmiumakut (NiCd). Ne vaihtelevat ominaisuuksiltaan ja niillä on erilaiset optimaaliset sovelluskohteensa. Esimerkiksi litiumioniakut tarjoavat energiatiheytensä vuoksi enemmän energiakapasiteettia per paino muihin akkutyyppeihin verrattuna ja ne sopivat siksi erityisen hyvin kulkuneuvojen voimanlähteeksi.⁴

Ylivoimaisesti suurimman osuuden ladattavien akkujen markkinoista muodostavat **lyijyakut**. Lyijyakkujen markkinaosuus ladattavista akuista vuonna 2017 oli 75 prosenttia (energiamäärästä laskettuna). Osuus on kuitenkin laskenut viime vuosina akkuja hyödyntävien sovellusten lisääntyessä ja litiumioniakkujen merkityksen kasvaessa. Esimerkiksi vuonna 2013 lyijyakkujen markkinaosuus oli vielä 90 prosenttia. Myynnin arvon (**USD**) mukaan tarkasteltuna lyijyakkujen osuus on laskenut vuosina 2013-2017 noin 61 prosentista 47 prosenttiin.⁵ (Kuva 1)

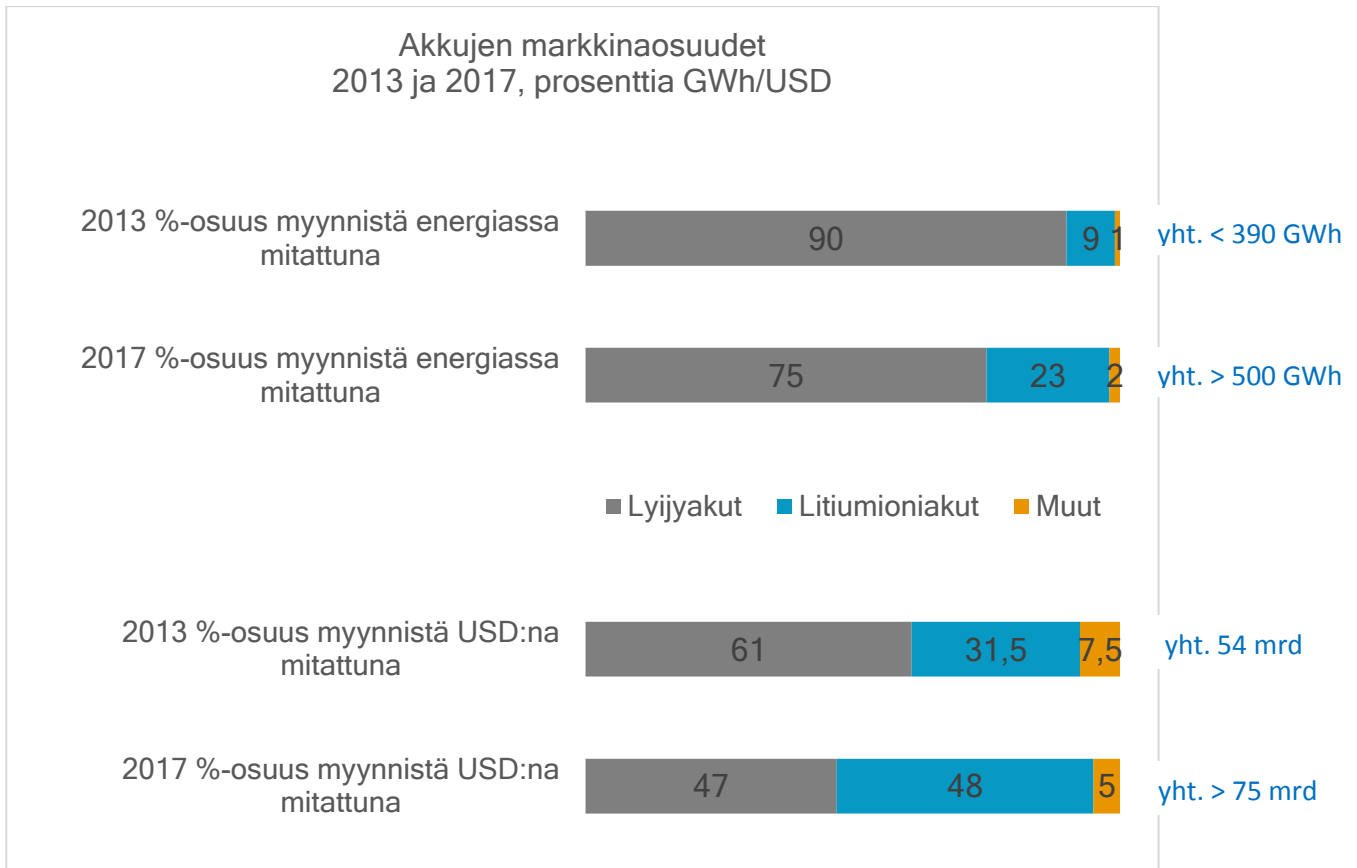
Lyijyakkujen päätyypit ovat **käynnistysakku** ja ns. **syvälatausakku**. Käynnistysakun tärkein tehtävä on antaa energiaa nopeasti ja suurella teholla auto käynnistettäessä. Akun käyttöaika yhdellä kertaa on siis lyhyt ja se purkautuu vain vähän. Lisäksi akku latautuu saman tien autoa ajettaessa. Syvälatausakkuja käytetään esimerkiksi pyörätuoleissa, golf-kärryissä ja nostureissa. Näissä sovelluksissa akun on tuotettava energiaa pitkäkestoisemmin ja akkujen purku-lataus-kertojen määrä on suurempi kuin käynnistysakuissa.⁶

³ Esim. https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/li_ion_ev.html; <https://electrek.co/2017/08/24/tesla-model-3-exclusive-battery-pack-architecture/>; <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/trends-in-electric-vehicle-design>

⁴ http://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries

⁵ Christophe Pillot, Avicenne Energy 7/2018

⁶ http://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries



Kuva 1 Akkujen markkinaosuuksien kehitys energiassa/USD:nä mitattuna, 2013 ja 2017.⁷

Nikkelimetallihydridiakkujen keskeisiä sovelluskohteita ovat erilaiset kuluttajien sähkö- ja elektroniikkalaitteet sekä hybridautot. Myös **nikkelikadmium**akkuja käytetään kuluttajalaitteissa, mutta myös teollisuuskäytössä esimerkiksi varavirtalähteinä.⁸

Sekä NiMH- että NiCd-akun katodi on nikkelihydroksidia. NiCd-akun anodi on kadmiumia, mutta NiMH-akussa anodin materiaalina on metalliseos, tyyppiä AB₅ tai AB₂. AB₅ tyyppisessä anodissa A on yhdistelmä harvinaisia maametalleja, kuten lantaniumia, ceriumia, neodyymia ja praseodyymia ja B yhdistelmä nikkeliä, kobolttia, mangaania ja alumiinia. Harvinaisemmassa AB₂ tyyppisessä A on titaania ja tai vanadiinia ja B zirkoniumia tai nikkeliä, lisäaineena kromi, koboltti, rauta ja/tai mangaani. Nikkelin, koboltin ja harvinaisten maametallien pitoisuudet NiMH-akuissa ovat

- Ni 36-42%
- Co 3-4 %
- Harvinaiset maametallit 8-10%.⁹

Kun lyijyakut jätetään tarkastelun ulkopuolelle, ovat **litiumioniakut** muodostaneet jo useamman vuoden ajan **yli 90 prosenttia** ladattavien akkujen markkinoista **energiamäärästä** laskettuna.¹⁰ Niiden merkitys ja määrä kasvavat tällä hetkellä huomattavasti ja niitä tarkastellaan siksi hieman yksityiskohtaisemmin luvussa 2.3.

⁷ Christophe Pillot, Avicenne Energy 7/2018

⁸ Reddy, Thomas (ed.) 2011. Linden's Handbook of Batteries.

⁹ Innocenzi et al. 2017. A review of the processes and lab-scale techniques for the treatment of spent rechargeable NiMH batteries

¹⁰ Christophe Pillot, Avicenne Energy 7/2018

INFO: JOITAKIN AKUN SUORITUSKYKYÄ KUVAAVIA TERMEJÄ

Energiatiheys (Energy density): Kuinka paljon energiaa akku voi luovuttaa/varastoida per tilavuusyksikkö (Wh/l). Usein termiä energiatiheys käytetään myös ilmaisemaan spesifistä energiaa (specific energy), joka ilmaisee energianluovutuskykyä per painoyksikkö (Wh/kg).

Tehotiheys (Power density): Akun teho per tilavuusyksikkö (W/l). ”Kuormituskyky” eli kuinka nopeasti akku voi toimittaa energiaa.

Spesifinen teho (Specific power): Akun teho per paino (W/kg).

Kapasiteetti (Capacity): Akun kokonaisenergianvarastointikyky eli kuinka kauan akusta voidaan saada energiaa tietyllä virralla (Ah) tai tehoa tietyllä virralla ja jännitteellä (Wh).

State of health: Akun kunto jonkin (käytön ja ikääntymisen myötä heikentyvän) ominaisuuden suhteen prosenttiosuutena alkuperäisestä suorituskyvystä. Ei yksiselitteinen määre.

Cycle life: Kuinka monta kertaa akun voi ladata ja purkaa sen elinkaaren aikana.

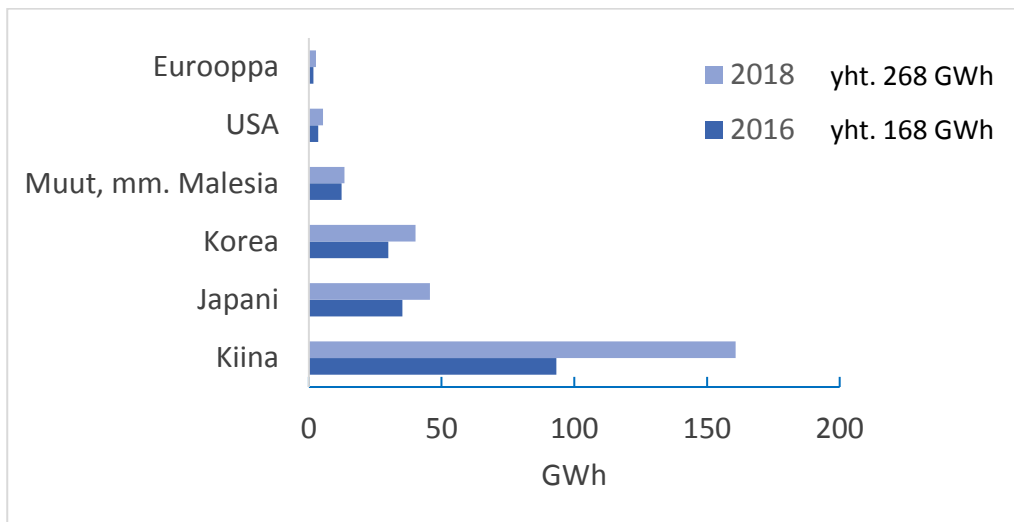
Calendar life: Aika, jonka kuluessa akku menettää toimintakykynsä olipa akkua käytetty tai ei. Mm. korkea säilytyslämpötila heikentää akun suorituskkyä merkittävästi.

2.3 Litiumioniakut

2010-luvun alkupuolelle saakka litiumionikenoja käytettiin lähes pelkästään (kuluttaja)elektroniikkalaitteissa. Tällä vuosikymmenellä litiumionikenojen sovelluskohteet ovat nopeasti lisääntyneet ja yleistyneet. Vuonna 2018 litiumionikenoja tarvittiin jo määrällisesti yhtä paljon sähköbussisiin kuin elektroniikkalaitteisiin. Erityisesti sähköautot kasvattavat litiumionikenojen kysyntää nopeasti. Muita yleistyviä litiumionikenojen sovelluskohteita ovat sekä ”paikallaan olevat” energianvarastointisovellukset että erilaiset liikumis- ja työkonesovellukset.¹¹

2.3.1 Litiumionikenojen tuotannosta, kysynnästä ja ennusteista

Avicenne Energyn mukaan litiumionikenojen **myynti** vuonna 2017 oli yli 120 GWh ja 7,3 mrd kappaletta, ja **tuotanto** kasvoi lähes 100 GWh vuodesta 2016 vuoteen 2018.¹² Pääosa tuotannosta oli Kiinassa, Japanissa ja Koreassa (Kuva 2).

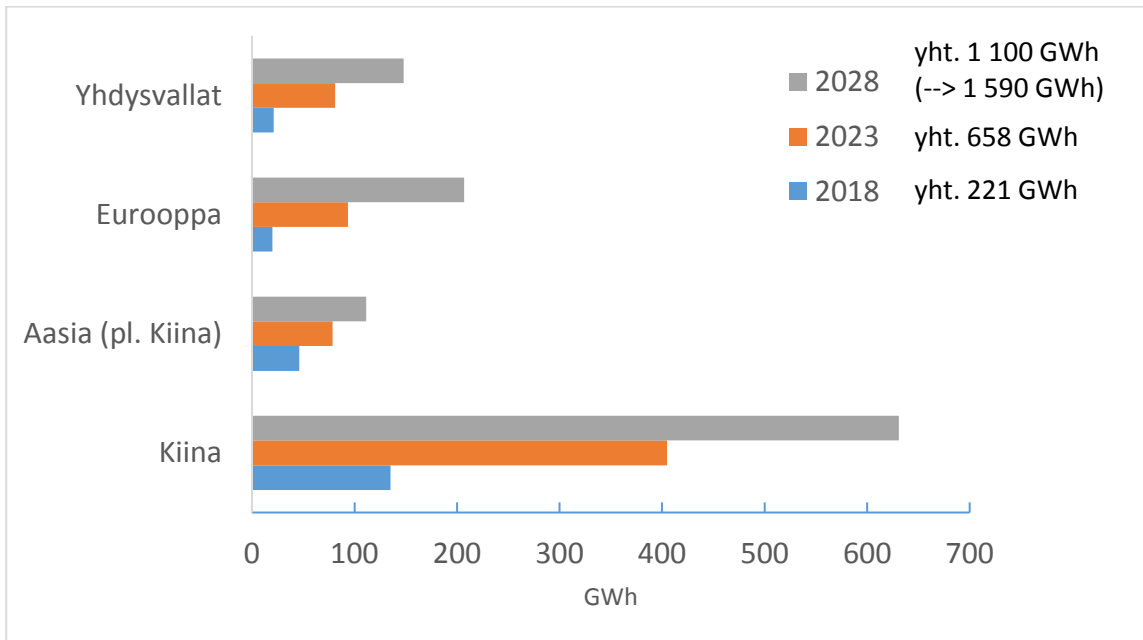


Kuva 2 Litiumionikenojen tuotannon jakautuminen 2016 ja 2018 (Avicenne Energy)

Litiumionikenojen **tuotantokapasiteetti** vuonna 2018 oli *Benchmark Mineral Intelligencen (BMI)* mukaan 221 GWh. Kuvaan 3 on koottu tiedot tuotantokapasiteetista ja niiden ennusteista joulukuulta 2018, jolloin ennuste kokonaistuotannosta vuonna 2028 oli 1 100 GWh. Ennusteet perustuvat olemassa olevaan tuotantokapasiteettiin sekä yritysten ilmoituksiin suunnitellusta tuotantokapasiteetista. Jo tammikuussa 2019 ennuste vuoden 2028 tuotantokapasiteetista oli noussut 1 450 GWh:een ja toukokuussa 1 590 GWh:een. Tois- taiseksi kennojen tuotanto on painottunut vahvasti Aasiaan (yli 80% kapasiteetista vuonna 2018), mutta tuotantokapasiteetti on lisääntymässä sekä Euroopassa että Yhdysvalloissa.

¹¹ http://www3.weforum.org/docs/GBA_EOL_baseline_Circular_Energy_Storage.pdf

¹² Christophe Pillot, Avicenne Energy 7/2018



Kuva 3 Litiumionikenojen **tuotantokapasiteetti** 2018, 2023 ja 2028 (Benchmark Mineral Intelligence, 12/2018).¹³

BloombergNEF on ennustanut litiumioniakkujen vuotuisen **kysynnän** kymmenkertaistuvan nykyisestä noin 200 GWh:sta vuoteen 2030 mennessä. Pelkästään kysynnän henkilösähköautoihin ennustetaan olevan tuotloin yli 1 400 GWh, hyötyajoneuvoihin yli 200 GWh, varastointiin noin 100 GWh ja kuluttajaelektroniikkaan vajaat 200 GWh.¹⁴

BMI:n mukaan tällä hetkellä tiedossa olevien akkutehdasilmoitusten perusteella akkujen tuotanto olisi hieman alle 1 600 GWh vuonna 2028. Tämä tarkoittaisi saman arvion mukaan noin 22-24 miljoonan sähköauton akkua (oletuksena noin 70 kWh:n akku).

Vuonna 2018 sähköautoja oli käytössä noin 5 miljoonaa. *International Energy Agency's Global EV Outlook 2019* -ennusteen mukaan vuonna 2030 käytössä olisi noin 130-250 miljoonaa sähköautoa (henkilö- ja hyötyajoneuvoja). *Bloomberg Electric Vehicle Outlook 2019* puolestaan arvioi, että vuonna 2040 sähköautokanta on jo 503 miljoonaa. Ennusteisiin sisältyvät sekä täyssähköautot että ladattavat hybridit. Reilussa kymmenessä vuodessa tarvittaisiin siis akkupaketit materiaaleineen 125-245 miljoonaan uuteen autoon ja reilussa kahdessakymmenessä vuodessa lähes 500 miljoonaan uuteen autoon.

Koska merkittävä osa suunnitelluista litiumioniakkutehtaista on tähtää erityisesti autoteollisuuden tarvitsemien akkujen valmistukseen, on Taulukkoon 1 koottu joitakin ennusteita/visioita autoteollisuuden kehityksestä lähivuosina.

Taulukko 1 Ennusteita/visioita autoteollisuuden kehityksestä lähivuosina.

Lähde	Osoite	Aihe / huomio
International Energy Agency: Global EV Outlook 2019	https://www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/	Sähköautojen myynti vuonna 2030 tarkastellusta skenaariosta riippuen 23-43 miljoonaa ja käytössä olevien sähköautojen määrä 130-250 miljoonaa (luvut sisältävät sekä henkilöautot että hyötyajoneuvot). Skenaarina

¹³ <https://www.visualcapitalist.com/battery-megafactory-forecast-1-twh-capacity-2028/>

¹⁴ <https://bnef.turtl.co/story/evo2019>

		'nykyinen politiikka' sekä 'vuonna 2030 30% myynnistä sähköautoja'.
Bloomberg Electric Vehicle Outlook 2019	https://bnef.turtl.co/story/evo2019	Henkilösähköautojen myynti 10 miljoonaa v. 2025 28 miljoonaa v. 2030 56 miljoonaa v. 2040 2040 57% henkilöautojen myynnistä ja yli 30% käytössä olevista (1.68 mrd) henkilöautoista sähköautoja (> 504 milj.); koko sähköautokanta 550 milj.
China EV Forecast: 50% EV Market Share by 2025	https://cleantech-nica.com/2019/02/24/china-ev-forecast-50-ev-market-share-by-2025-part-1/ https://cleantech-nica.com/2019/02/24/china-ev-forecast-50-ev-market-share-by-2025-part-2-consumer-demand/ https://cleantech-nica.com/2019/02/24/china-ev-forecast-50-ev-market-share-by-2025-part-3-ramping-production/	CleanTechnicassa julkaistu 3-osainen juttusarja Kiinan sähköautoistumisesta eri näkökulmista: politiikka, kuluttaja ja sähköautomarkkinoiden kehitys.
PwC: The 2018 Strategy&Digital Auto Report	https://www.strategyand.pwc.com/media/file/Digital-Auto-Report-2018.pdf	Liikkumisen murroksen vaikutus auto-teollisuuteen
PwC: Five trends transforming the Automotive Industry	https://eu-smartcities.eu/sites/default/files/2018-03/pwc-five-trends-transforming-the-automotive-industry.compressed.pdf	Miten sähköistyminen, autonomistuminen, jakaminen, liittyminen ja nopea päivittyminen vaikuttavat autoteollisuuteen.
Moody's Analytics: The Effect of Ride-Sharing on the Auto Industry	https://www.moodyanalytics.com/risk-perspectives-magazine/managing-disruption/op-ed/the-effect-of-ride-sharing-on-the-auto-industry	Kyytien jakamisen vaikutus autoteollisuuteen Artikkelissa arvioidaan, että kyytien jakamisen yleistymisen vaikuttaa autoteollisuuteen eniten ajoneuvojen homogenisoitumisen kautta, mikä mahdollisesti vaikuttaa uusien ajoneuvojen valmistuksen kannattavuuteen sekä käytettyjen autojen kaupan kannattavuuteen.
McKinsey & Company: How shared mobility will change the automotive industry		Vaikka autojen jakamisen yleistymisen vaikuttaa uusien autojen käyttöönottomäärään, autojen myynti kehittyvissä maissa ylittää jakamispalveluiden vaikutuksen tulevina 15 vuotena. Silti 2030-luvulla jakamisen arvioidaan vähentävän ajoneuvojen myyntiä 1/3:lla siitä, mikä se olisi kaupungistumisen ja talouskasvun vaikutuksesta.

2.3.2 Litiumioniakkujen materiaaleista

Litiumioniakut jaetaan yleisimmin alatyyppeihin niiden **katodin** aktiivimateriaalin perusteella. Aktiivimateriaali on litiumioneja sisältävä yhdiste (nk. insertiomateriaali), jonka rakenne mahdollistaa ionien liikkeen latauksen ja purkamisen yhteydessä. Eri insertiomateriaaleja käyttämällä mm. akun kapasiteetti ja stabiiliteetti saadaan optimoitua käyttötarkoituksen mukaan, mutta katodimateriaalin valinta vaikuttaa myös kenon valmistuskustannuksiin.

Litiumkobolttioksidi (LCO) on ensimmäisen sukupolven litiumioniakkujen katodityyppi. Sen etuja ovat korkea energiakapasiteetti ja korkea jännite ja haittoja taas korkea hinta, epästabiilius 'yliladattaessa' toistuvasti sekä kuumeneminen. LCO-tyyppistä akkua käytetään edelleen erityisesti puhelinten ja tablettien akuissa.

Materiaalikustannusten vähentämiseksi **litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidi-tyyppisessä (NMC)** katodimateriaalissa osa koboltista on korvattu nikkellillä ja mangaanilla. Tämän akkutyyppin merkittävimpiä käyttökohteita ovat sähköautojen akut, tabletit ja kannettavat tietokoneet.

Litium-mangaanioksidin (LMO) valmistuskustannukset ovat alhaiset ja se on turvallinen ja stabiili yhdiste akkukäytössä. Sen tarjoama kapasiteetti on kohtalainen ja teho hyvä. Sitä käytetään yleensä yhdessä NMC:n kanssa kennojen ominaisuuksien optimoimiseksi, erityisesti sähköautojen akuissa. Myös **nikkeli-koboltti-alumiinioksidia (NCA)** käytetään sähköautojen akuissa joko yksinään tai yhdessä LMO:n kanssa.

Viides merkittävä aktiivimateriaalityyppi on **litiumrautafoosfaatti (LFP)**, jota on käytetty erityisesti sähköautoissa ja -busseissa Kiinassa sekä erilaisissa teollisissa sovelluksissa. Yhdisteen etuna ovat mm. alhaiset materiaalikustannukset – vähemmän houkuttelevan siitä tekee muita yhdisteitä huonompi energiatiheys, minkä vuoksi akut ovat raskaampia.¹⁵

Mm. koboltin ja kobolttijalosteiden nopeiden hintamuutosten sekä koboltin saatavuuteen liittyvien epävarmuuksien vuoksi koboltin osuutta katodin aktiivimateriaaleissa on ryhdytty vähentämään. Tämä näkyy NMC-katodimateriaalin koostumuksen muutoksessa. Ensimmäisen sukupolven NMC 111 -materiaalissa nikkeliä, mangaania ja kobolttia on 1:1:1-suhteessa, mutta uudemmissa nikkelin osuutta on lisätty, ja koboltin ja mangaanin vastaavasti vähennetty. Tällä hetkellä valmistetaan mm. NMC 532 ja NMC 622 -katodiaktiivimateriaaleja. Korkeampi nikkelin osuus tuo akulle paremman energiatiheyden, mutta stabiiliuden kustannuksella. Juuri epästabiilius on toistaiseksi estänyt NMC 811 katodin käyttöönottoa akuissa – lisäksi sen varjopuolia ovat kapasiteetin hiipuminen ja lisäkustannukset valmistusprosessissa.^{16,17} Kuitenkin esimerkiksi LG Chem ja SK Innovation tutkivat aktiivisesti NMC 811 katodia ja pyrkivät sen kaupallistamiseen. (Sekä lyhennettä NMC että NCM käytetään – kummassakin muodossa keskimäinen numero kuvaa mangaanin osuutta.)

Litiumionikennon **anodin** aktiivimateriaali on nykyisin yleisimmin grafiittia (luonnongrafiittia tai synteettistä grafiittia), mutta myös amorfista hiiltä, litiumtitaanaattia (LTO) sekä piipohjaisia yhdisteitä käytetään anodin aktiivimateriaaleina. Luonnongrafiitista jalostetaan nk. pallomaista grafiittia anodin aktiivimateriaaliksi.

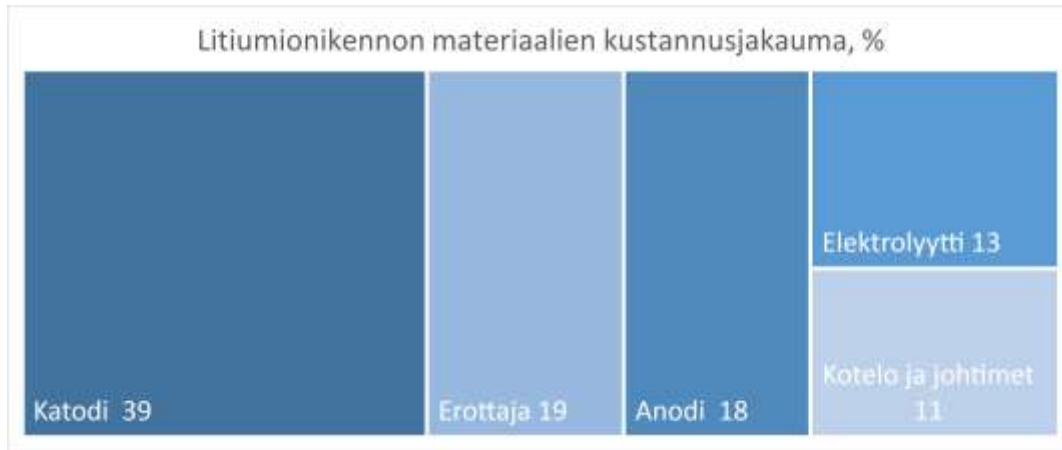
Anodin **virrankeräimenä** käytetään kuparia ja katodin virrankeräimenä alumiinia. Elektrodien välissä on **polymeerikalvo**, joka estää elektrodien kontaktin ja oikosulun, mutta päästää varausta kuljettavat litiumionit lävitseen. **Elektrolyytti** on yhdistelmä litiumsuolaa (useimmiten litiumheksafluorofosfaattia), karbonaatteja sekä sidosaineena käytettävää polyvinyylifluoridia. Elektrolyytti voi olla nestemäinen tai geelimäinen. Akkukennon **kotelon** materiaali voi olla mm. jokin polymeeri, alumiini tai teräs.

¹⁵ Reddy, Thomas (ed.) 2011. Linden's Handbook of Batteries; Christophe Pillot & Mike Sanders, Avicenne Energy 9/2017.

¹⁶ <https://www.cell.com/joule/references/S2542-4351%2817%2930044-2>

¹⁷ <https://researchinterfaces.com/know-next-generation-nmc-811-cathode/>

Kuvaan 4 on koottu tietoa litiumionikennon komponenttien materiaalikustannusosuuksista.



Kuva 4 Litiumioniakun kennomateriaalien kustannusjakauma ladattavan hybridin NMC-kennolle 2015. Huom! anodi ja katodi sisältävät aktiivimateriaalin, virrankeräimen ja sidosaineen materiaalikustannukset.¹⁸

Avicenne Energyn mukaan raaka-aineiden hinta vaikuttaa voimakkaasti akkuliiketoiminnan kannattavuuteen, sillä raaka-aineet muodostavat 60-70 prosenttia akkujen tuotantokustannuksista¹⁹ (Teslan kennojen osalta mineraalien ja metallien osuuden on arvioitu olevan jopa lähes 80% kustannuksista²⁰). Katodimateriaalin koostumuksella on huomattava vaikutus kustannuksiin. Yksityiskohtaisempaa, tuoretta analyysiä akkujen kustannusrakenteesta on luettavissa esim. Tsiropoulos et al. 2018 tutkimuksesta²¹.

Suuren osan 2010-lukua koboltin hinta on pysytellyt 20 000 – 40 000 USA:n dollarissa per tonni, mutta hinta kävi lähellä 100 000 dollaria tonnilta kesällä 2018. Nikkelin hinta samalla jaksolla on vaihdellut 30 000 ja 8 000 dollarin välillä per tonni.

Litiumkarbonaatin ja litiumhydroksidin hinnat ovat vaihdelleet viimeisen viiden vuoden aikana 6 000 / 8 000 – 20 000 USA:n dollarin välillä per tonni.²² Litiumin hintakehitykseen vaikuttavat erityisesti akkuihin tarkoitettujen litiumjalosteiden spot-hinnat Kiinan ja Etelä-Korean markkinoilla²³.

Yleisesti ottaen hintojen voimakas vaihtelu on tällä hetkellä 'normi'. Raaka-aineiden alhaiset hinnat voivat vaikuttaa korkeamman jalostusasteen materiaalien saatavuuteen siten, niitä ei tarjota markkinoille riittävästi, koska niistä saatava hinta ei ole kannattava.²⁴

BloombergNEF on todennut raaka-aineiden hintakehityksen vaikuttavan litiumioniakkupakettien hintaan vähemmän kuin yleensä oletetaan. Esimerkiksi litiumin hinnan kasvu 50 prosentilla nostaisi BloombergNEFin arvion mukaan NMC 811 katodin sisältävän akkupaketin hintaa vain alle 4 prosenttia ja nikkelin hinnan kaksinkertaistuminen 3 prosenttia.²⁵

¹⁸ Bernhart, W. 2014. The Lithium-Ion Battery Value Chain — Status, Trends and Implications. In: Pistoia, G. Lithium-ion batteries: Advances and applications. Amsterdam: Elsevier, pp. 553-565

¹⁹ Christophe Pillot, Avicenne Energy 7/2018

²⁰ <https://www.benchmarkminerals.com/watch-benchmark-minerals-simon-moores-speak-at-the-royal-institution/>

²¹ https://www.researchgate.net/publication/329467984_Li-ion_batteries_for_mobility_and_stationary_storage_applications_Scenarios_for_costs_and_market_growth

²² <https://www.benchmarkminerals.com/watch-benchmark-minerals-simon-moores-speak-at-the-royal-institution/>

²³ <https://www.metalbulletin.com/lithium-prices-update>

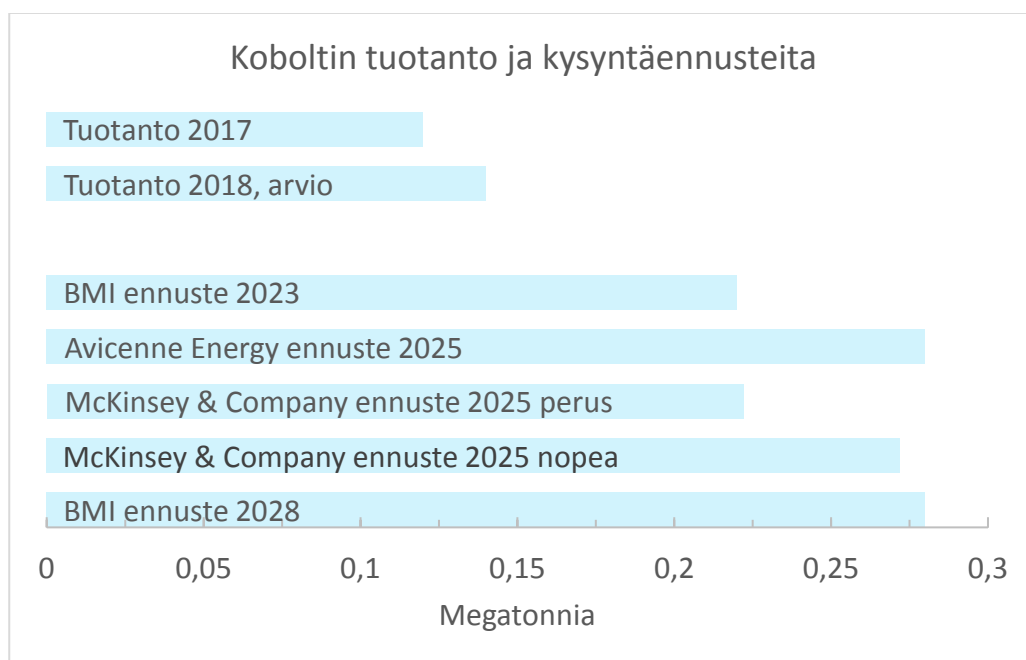
²⁴ <https://www.metalbulletin.com/Article/3845415/Chinese-cobalt-sulfate-price-continues-to-tumble-producers-stop-offering-to-avoid-losses.html>

²⁵ <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>

Litiumioniakkuihin käytetty osuus koboltin ja litiumin tuotannosta on viime vuosina saavuttanut 50 prosentin rajan, mikä vaikuttaa myös näiden materiaalien tuotantoketjuihin. Taulukkoon 2 on koottu joitakin litiumin ja koboltin kysyntäennusteita.

Taulukko 2 Joitakin litiumin ja koboltin kysyntäennusteita. Litiumin kysyntä on kerrottu sekä 100-prosenttisenä litiumina, että litiumkarbonaattiekvivalenttina, LCE. Litiumista puhuttaessa käytetään usein termiä LCE, lithium carbonate equivalent, koska litiumkarbonaatti on eniten tuotettu ja käytetty litiumjaloste. Yksikkö 100% litiumia vastaa 5,323 yksikköä LCE:ä.

Ennuste	Tietoa taustaoletuksesta	Koboltti, Mt	Litium / LCE, Mt	Vuosi
Benchmark Mineral Intelligence 2/2019 ²⁶	Kaikki vuoden 2019 alussa suunnitteilla olevat (mega)akkutehtaat (70 kpl) toiminnassa täydellä kapasiteetilla (ennusteessa mainitaan myös, että realistinen oletus on n. 70%:a suunnitelluista tehtaista olevan käytössä)	0.220	0.180 / 0.960	2023
		0.280	0.295 / 1.570	2028
Avicenne Energy 7/2018 ²⁷	Akkuihin tarvittava osuus tuotannosta nousee 65 prosenttiin (koboltti) ja 75 prosenttiin (litium)	0.280	0.098 / 0.520	2025
McKinsey & Company 7/2018 ²⁸	Litiumioniakku pysyy vallitsevana teknologiana lähitulevaisuudessa. Ennusteissa 2 oletusta sähköautojen yleisty- misestä maltillisemmin tai nopeammin.	0.222	0.126 / 0.670	2025
		0.272	0.168 / 0.893	

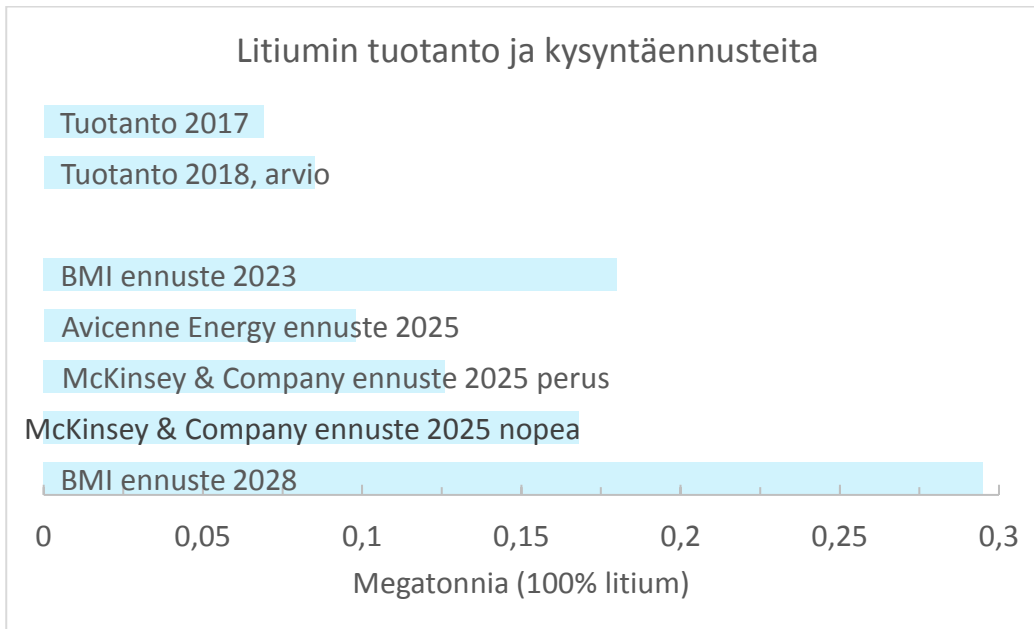


²⁶ https://www.energy.senate.gov/public/index.cfm/files/serve?File_id=9BAC3577-C7A4-4D6D-A5AA-33ACDB97C233

²⁷ Christophe Pillot, Avicenne Energy 9/2014; Christophe Pillot, Avicenne Energy 7/2018

²⁸ <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/metals%20and%20mining/our%20insights/lithium%20and%20cobalt%20a%20tale%20of%20two%20commodities/lithium-and-cobalt-a-tale-of-two-commodities.ashx>

Litiumin tuotanto ja kysyntäennusteita



Litiumia tarvitaan eri katodimateriaaleihin suunnilleen saman verran, noin 0,12 kg/kWh. Päällystettyä, palolomaista grafiittia tarvitaan litiumioniakkuihin noin 1 kg/kWh. Materiaalien tarve riippuu jonkin verran myös mm. kennotyypistä.

Koboltin kysyntään vaikuttaa paljon se, mikä sähköautoissa yleisen NMC-katodimateriaalin tarkempi koostumus nikkelin, koboltin ja mangaanin suhteen on. Ensimmäisen sukupolven NMC 111 -katodiin kobolttia tarvitaan n. 0,39 kg / kWh, kun taas nikkelirikkaassa NMC 811 -katodissa sitä käytettäisiin vain noin 0,09 kg/kWh. (Vertailun vuoksi kuluttajatuotteiden akuissa käytettävässä LCO-katodiin kobolttia käytetään noin 0,96 kg/kWh).²⁹

Myös akun kapasiteetista tehdyt oletukset vaikuttavat huomattavasti ennusteisiin kaikkien materiaalien osalta. Katodin ja akun kapasiteetin vaikutusta on havainnollistettu koboltilla Taulukossa 3.

Taulukko 3 Koboltin tarve kolmessa eri kokoisessa akussa ja kolmella eri katodikemialla.

Akun kapasiteetti, kWh	Koboltin tarve, kg NMC 111	Koboltin tarve, kg NMC 622	Koboltin tarve, kg NMC 811
25	9,75	5,35	2,25
50	19,5	10,7	4,5
100	39	21,4	9

Myös ennusteet NMC:n ja Kiinassa toistaiseksi sähköautoihin paljon käytetyn LFP-katodimateriaalin käytöstä tulevaisuudessa vaihtelevat. Litiumioniakkujen ja muiden ladattavien akkujen markkinakehitystä on jo vuosia seurannut ja ennustanut Avicenne Energy. Verrattaessa vuoden 2016 katodimateriaalien toteutunutta **tuotantoa** ja kahden peräkkäisen vuoden tuotantoennustetta vuodelle 2025 (Taulukko 4) on nähtävissä, että ennusteet elävät nopeasti sekä katodimateriaaliosuuksien mutta erityisesti määrän suhteen. Ennusteisiin vaikuttavat mm. raaka-aineiden ja niiden jalosteiden hintakehitys ja saatavuus sekä näistä ja muista syistä tehdyt linjaukset akkujen materiaalivalinnoissa esimerkiksi autoteollisuudessa.

²⁹ <https://www.cell.com/joule/references/S2542-4351%2817%2930044-2>

Taulukko 4 Aktiivimateriaalien tuotanto-osuudet vuonna 2016 ja ennuste vuodelle 2025 vuodelta 2017³⁰ ja vuodelta 2018³¹

Aktiivimateriaalien tuotanto-osuudet	2016 %	2016 tonnia	2017 ennuste vuodelle 2025 %	2025 e tonnia	2018 ennuste vuodelle 2025 %	2025 e tonnia
LCO	21	44 000	12	65 000	6	53 000
NMC	26	55 000	54	292 000	70	613 000
LMO	8	17 000	1	5 000	1	9 000
LFP	36	76 000	21	113 000	15	131 000
NCA	9	19 000	12	65 000	8	70 000
YHT	100	> 210 000	100	~ 540 000	100	~ 875 000

Globaalisti sähköisillä ajoneuvoilla potentiaalisesti tehtyjen matkojen profiilit voivat vaihdella paljonkin, ja tapamme liikkua voi huomattavasti muuttua tulevaisuudessa. Nämä tekijät vaikuttavat siihen, millaisia akkuja tulevaisuudessa tarvitaan.

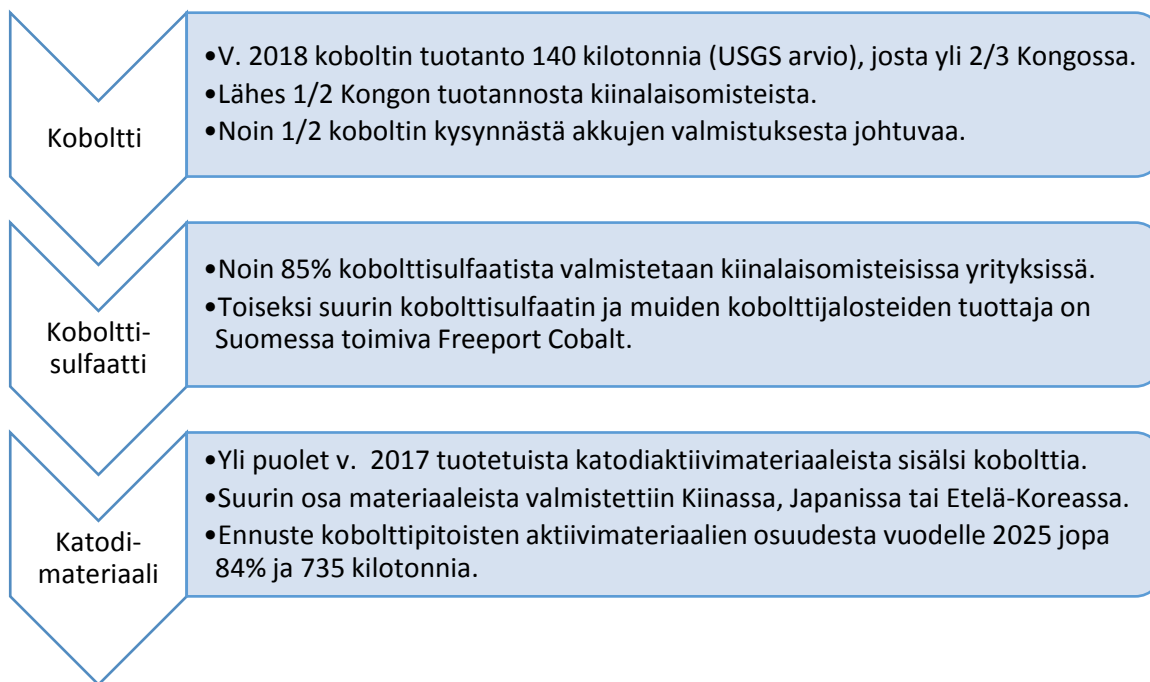
2.3.3 Litiumionikemien materiaalien tuotannosta, jalostuksesta ja saatavuudesta

Katodiaktiivimateriaalit valmistetaan litiumsuolan, kuten litiumkarbonaatin tai litiumhydroksidin sekä metallihydroksidin tai -oksidin synteessissä. Lopputuotteelta vaaditaan hyvin korkeaa puhtausastetta. Puhtausvaatimukset ovat nousseet entisestään mm. sähköautojen kennoissa käytettäviltä materiaaleilta, koska akuston sisältämän energiamäärän kasvaessa epäpuhtauksien aiheuttamat riskitkin kasvavat. Kiinalaiset, japanilaiset ja eteläkorealaiset toimijat vastaavat tällä hetkellä arviolta noin 2/3:sta katodiaktiivimateriaalien tuotannosta sekä valtaosasta litiumionikemien komponenttien kuten alumiini- ja kuparifolioiden, grafiitin ja muiden anodimateriaalien, elektrolyyttien ja erottimien valmistuksesta.³²

³⁰ Christophe Pillot & Mike Sanders, Avicenne Energy 9/2017

³¹ Christophe Pillot, Avicenne Energy 7/2018

³² [JRC Science for Policy Report. Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe.](#) 2016; Avicenne Energy 2016.



Kuva 5 Tietoa kobolttin jalostuksesta (tilanne keväällä 2019).³³

Suomessa tuotetaan primääriä kobolttia ainoana maana Euroopan unionissa. Vuonna 2015 kobolttia tuotettiin Suomessa 2.5 kilotonnia, mutta meneillään olevien kehitysprojektien myötä kobolttin tuotanto voi moninkertaistua.³⁴

Suomessa toimivan Terrafamen akkukemikaalilaitoksessa tuotettaisiin sen toteutuessa noin 7.4 kilotonnia kobolttisulfaattia vuodessa. Kobolttisulfaatti tuotettaisiin Terrafamen nykyisestä päätuotteesta, nikkelikobolttisulfidista.³⁵

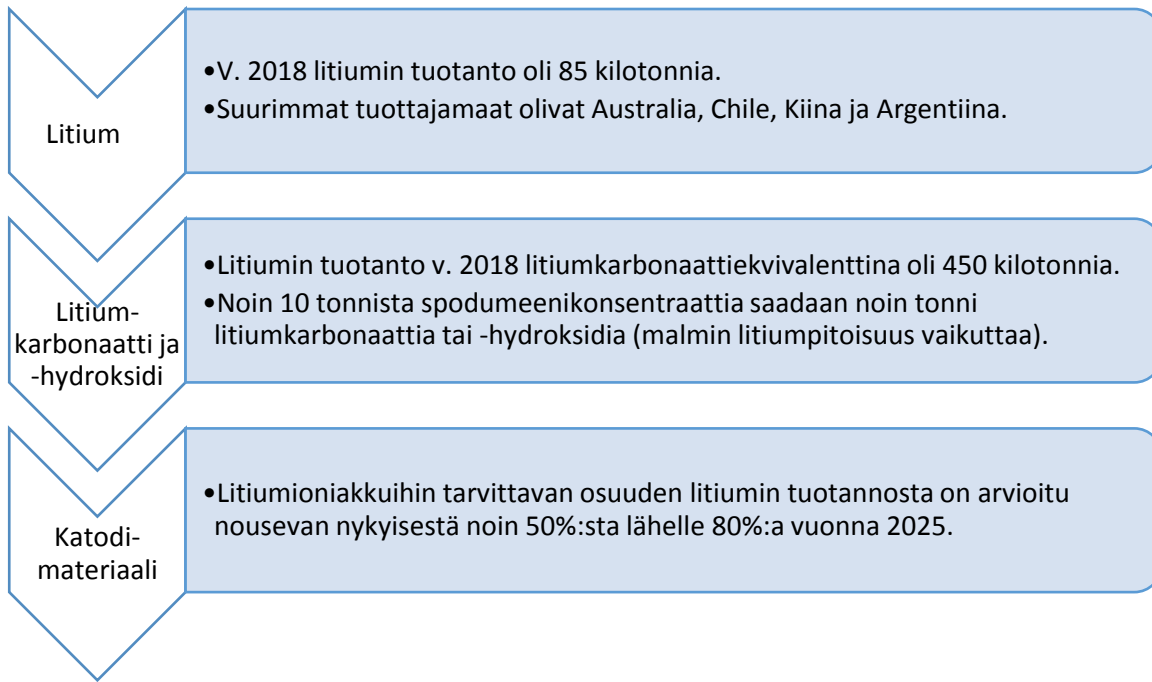
Maapallon yhteenlasketut kobolttivarannot ovat noin 25 Mt, ja Suomen tunnetut kobolttivarannot noin 0.4 Mt.³⁶

³³ <https://www.bloomberg.com/graphics/2018-china-cobalt/>; <https://www.reuters.com/article/us-usa-minerals-electric/u-s-faces-hurdles-in-push-to-build-electric-vehicle-supply-chain-idUSKCN1SKOL7>; Christophe Pillot, Avicenne Energy 9/2014; Christophe Pillot, Avicenne Energy 7/2018

³⁴ Tiainen & Ahtola 2018, GTK

³⁵ <https://www.terrafame.fi/media/mediapankki/akkukemikaalien-tuotantoa-koskeva-yva/yva-selostus/terrafame-akkukemikaalituotanto-yva-selostus.pdf>

³⁶ Tiainen & Ahtola 2018, GTK



Kuva 6 Tietoa litiumin tuotannosta ja jalostuksesta (tilanne keväällä 2019)³⁷

Maapallon yhteenlasketut litiumvarannot olivat vuonna 2018 yli 62 Mt (USGS 2019). Suomessa potentiaalisimpien alueiden litiumvarannot ovat yhteensä noin 50 kilotonnia, ja uusia alueita kartoitetaan.³⁸

Suomen litiumesiintymät ovat spodumeenia. Litiumpitoisten malmikivien lisäksi litumia jalostetaan lisäksi litiumsuolavesistä (brine), joita on erityisesti Etelä-Amerikassa ja Kiinassa. Litiumsuolavedestä valmistetaan ensin litiumkarbonaattia, joka tarvittaessa prosessoidaan eteenpäin litiumhydroksidiksi. Malmikivistä voidaan valmistaa suoraan joko litiumkarbonaattia tai litiumhydroksidia. Litiumhydroksidin kysynnän on arvioitu kasvavan tulevaisuudessa, sillä se sopii paremmin enemmän nikkeliä sisältävien katodiaktiivimateriaalien valmistusprosessiin ja sitä käytettäessä prosessilämpötila voi olla alhaisempi.³⁹

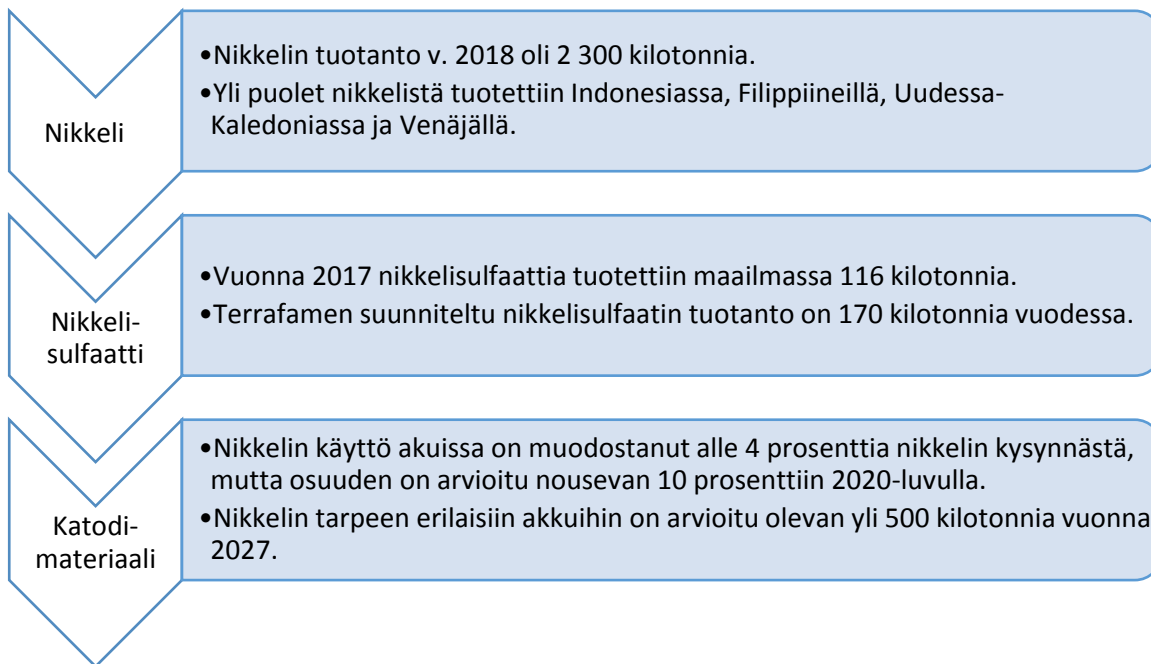
Litiumista puhuttaessa käytetään usein termiä LCE, lithium carbonate equivalent, koska litiumkarbonaatti on eniten tuotettu ja käytetty litiumjaloste. Yksikkö 100% litumia vastaa 5,323 yksikköä LCE:ä. Litiumkarbonaatin litiumpitoisuus on 18.8% ja litiumhydroksidin 29% (kidevedetön muoto).⁴⁰

³⁷ <https://www.ft.com/content/455fe41c-7185-11e9-bf5c-6eeb837566c5>; https://www.keliber.fi/site/assets/files/1889/executive_summary_of_the_updated_definitive_feasibility_study_id_17398.pdf; Christophe Pillot, Avicenne Energy 9/2014; Christophe Pillot, Avicenne Energy 7/2018; <https://www.indmin.com/Article/3868442/Evolving-global-lithium-supply.html>

³⁸ Tiainen & Ahtola 2018, GTK

³⁹ <https://www.argusmedia.com/en/news/1836977-lithium-hydroxide-demand-to-overtake-carbonate-aabc>; <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/lithium-investing/lithium-carbonate-lithium-hydroxide-nemaska-lithium/>

⁴⁰ <http://rocktechlithium.com/lithium-conversion-table/>

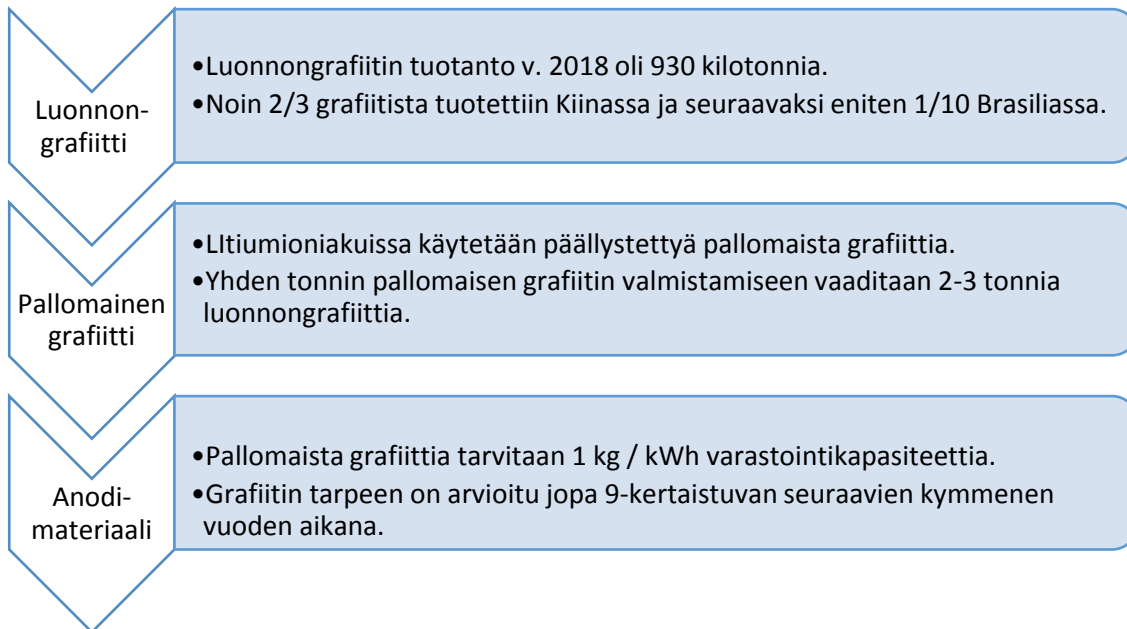


Kuva 7 Tietoa nikkelin tuotannosta ja jalostuksesta (tilanne keväällä 2019)⁴¹

Nikkelin kysynnän akkuihin on arvioitu kasvavan huomattavasti 2020-luvulla. Vaikka nikkelin akkuihin käytetty osuus oletuksen mukaan jää edelleen vain 10 prosenttiin, on sen arvioitu jakavan nikkelimarkkinat selkeästi ruostumattomaan teräkseen käytettävän nikkelin markkinoihin ja muihin sovelluksiin, kuten akkuihin käytettävän nikkelin markkinoihin. Näiden markkinoiden kysyntää ja tarjontaa tulisi ennusteen mukaan tarkastella omina kokonaisuuksinaan.⁴²

⁴¹ <https://www.usgs.gov/centers/nmic/nickel-statistics-and-information>; <https://roskill.com/market-report/nickel-sulphate/>; <https://im-mining.com/2018/07/13/shifting-high-gear-meeting-future-demand-nickel-sulphate/>; <https://www.prnewswire.com/news-releases/roskill-batteries-and-stainless-steel-to-drive-nickel-demand-673105703.html>

⁴² <https://bmo.bluematrix.com/docs/pdf/b378e041-a882-48a7-8e8b-3e6d5b4d7536.pdf>



Kuva 8 Tietoa grafiitin tuotannosta ja jalostuksesta (tilanne keväällä 2019).⁴³

Toistaiseksi luonnongrafiitti on tärkein litiumionikemien anodimateriaali, vaikka synteettistä grafiittia ja litiumtitanaattiakin käytetään. Grafiitin tarpeen onkin arvioitu huomattavasti kasvavan tulevien kymmenen vuoden aikana litiumionikemien kysynnän kasvamisen myötä.

Alumiinin, kuparin ja mangaanin osuus litiumioniakkujen valmistukseen kaikesta ko. metallien tuotannosta on tällä hetkellä alle 5 prosenttia⁴⁴, eikä niitä käsitellä tässä tarkemmin. Kuitenkin myös nämä materiaalit ovat tärkeitä akkujen materiaaleja ja niiden tuotannossa syystä tai toisesta tapahtuvat vaihtelut voivat vaikuttaa akkujen valmistukseen ja toisaalta niiden kysyntä akkuihin voi vaikuttaa ko. metallien markkinoihin kokonaisuudessaan.

⁴³ <https://www.usgs.gov/centers/nmic/graphite-statistics-and-information>; <https://graphitedaily.com/wp-content/uploads/2018/06/Ceylon-Primer-v8.pdf>; <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/graphite-investing/graphite-outlook/>; <http://www.northerngraphite.com/resources/media/SPG-Summary-2.pdf>; <https://www.indmin.com/Article/3238613/Spherical-graphite-how-is-it-made.html>

⁴⁴ <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>

INFO: MINERAALIVARANNOT JA MALMIVARAT

Mineraalivarannot (Resources) sisältävät löytyneet ja löytymättömät esiintymät sellaisessa pitoisuudessa ja muodossa, että ne ovat nyt tai potentiaalisesti tulevaisuudessa kannattavasti hyödynnettävissä. Tieto löydetyistä mineraalivarannoista perustuu malminetsintään, kairauksiin ja muihin geologisiin tutkimuksiin. Tieto löytämättömistä mineraalivarannoista perustuu yhdistelmään asiantuntijoiden arviosta löytymättömistä mineraalivarannoista ja esiintymätyypin tunnettujen esiintymien ja pitoisuuksien vaihtelusta.

Mineraalivarantojen koko elää malminetsinnän mukana: esim. USGS:n arvio litiumvarannoista vuonna 2018 oli 53 Mt: Vuonna 2019 arvio oli jo 62 Mt arviointien välissä tehdyn aktiivisen malminetsinnän vuoksi.

Malmivarat (Reserves) sisältävät ne esiintymät, jotka olisivat taloudellisesti hyödynnettävissä määrätyshetkellä (riippumatta siitä, onko hyödyntämiseen tarvittava infrastruktuuri paikallaan ja toiminnassa).

Lähteet: [USGS](#); [kaiva.fi](#)

Ajanjakso esiintymän löytämisen ja tuotannon aloittamisen välillä voi vaihdella muutamista vuosista vuosikymmeniin. Kestoon vaikuttavat kyseessä oleva mineraali, löydöksen koko ja laatu, rahoituksen saatavuus, löydösvaltion liittyvät tekijät sekä ko. mineraalista saatavien jalosteiden hintakehitys. Vuoteen 2014 mennessä alle puolet vuoden 1950 jälkeen tehdyistä löydöksistä oli johtanut tuotantoon.

Lähteet: <http://minexconsulting.com/key-issues-affecting-the-time-delay-between-discovery-and-development-is-it-getting-harder-and-longer/>; <http://documents.worldbank.org/curated/en/573121473944783883/pdf/WPS7823.pdf>

2.3.4 Litiumioniakkujen uudelleenkäyttö

Yleisesti hyväksytty käsitys on, että litiumioniakku on ensimmäisen elämänsä lopussa, kun se on menettänyt noin 20-30 prosenttia alkuperäisestä kapasiteetistaan. Käsitys on lähtöisin ainakin osittain USABC:n vuonna 1996 akkujen testausohjeessa antamasta määritelmästä, jonka mukaan sähköauton akku tulisi poistaa autosta, kun sen kapasiteetti tai virranantoteho on 80% alkuperäisestä arvosta. Merkillepantavaa on se, että tuohon aikaan suurin osa ladattavien autojen akuista oli nikkelimetallihydridiakkuja, joiden energiatiheys ja virranantoteho olivat huomattavasti alhaisemmat kuin litiumioniakuilla.⁴⁵

Erityisesti suuremman kokoluokan litiumioniakut (pienteollisuusakut ja teollisuusakut) voivatkin edelleen olla käyttökelpoisia muihin sovelluskohteisiin, vaikka ne eivät enää palvelisi ensimmäisessä sovelluskohteessaan. Joissakin sovelluskohteissa akku on toki käyttökelpoinen myös 80 prosentin kapasiteetin rajan jälkeenkin. On esitetty, että akun suorituskyky saattaa nopeasti huonontua 60 prosentin kapasiteetin alittamisen jälkeen, mutta toisaalta myös toisenlaisia tuloksia on olemassa ja vaikuttaa siltä, että ikääntymisen kiihtymisen alkamista ei ole vielä pystytty yksiselitteisesti määrittelemään.⁴⁶

Joka tapauksessa litiumioniakkuja käytetään uudelleen eri puolilla maailmaa jo lähes vakiintuneena käytönä (esimerkiksi Kiinassa tukiasemien varavirtalähteinä uusien lyijyakkujen sijasta⁴⁷) sekä lukuisissa erilaisissa piloteissa, joissa esimerkiksi käytettyjä sähköauton akkuja testataan erilaisissa sovelluskohteissa⁴⁸.

Yleisesti ottaen käytettyjen litiumioniakkujen katsotaan soveltuvan samaan käyttöön kuin uusienkin, huomioiden kuitenkin käytetyn akun suorituskyky. Erilaiset käyttökohteet ovat profiililtaan hyvin erilaisia, ja riippuukin sovelluskohteesta, miten pitkään akku on riittävän suorituskykyinen uudessa käyttökohteessaan.

Esimerkiksi eräässä sähköauton akkujen **mallinnustesteissä** saatiin tulokseksi, että käytetty sähköauton akku pystyisi palvelemaan jopa 30 vuotta toisessa elämässään sähköautojen pikalatausaseman tukivoimana. Toisaalta sähköverkon tasapainottamiseen asennettu käytetty akku olisi testin mukaan käyttökelpoinen ko. sovelluskohteessa vain 6 vuotta.⁴⁹

Akkujen valmistelu uudelleenkäyttökohteeseen vaatii vaihtelevan määrän työtä riippuen mm. alkuperäisen akun kunnosta ja siitä, kuinka paljon uusi käyttökohteeseen eroaa alkuperäisestä. Työmäärä vaikuttaa puolestaan akun uudelleenkäytön kannattavuuteen⁵⁰ liiketoiminnan näkökulmasta, sillä uudelleenkäyttö kilpailee myös (toistaiseksi) halpenevien uusien litiumioniakkujen kanssa.

Koska litiumioniakkujen uudelleenkäyttö on suhteellisen tuore ilmiö, joudutaan tuloksia ja tietoja akkujen toisen elämän mahdollisuuksista käytännön testien pohjalta ja pidemmältä aikaväliltä vielä odottamaan. Lähes viikoittaiset ilmoitukset akkujen uudelleenkäytön piloteista kertovat kuitenkin, että mahdollisuus lisätä akuista saatavaa liiketoimintaa akkujen uudelleenkäytön kautta kiinnostaa esimerkiksi autoteollisuutta.

Akkujen uudelleenkäyttö myös pidentää ajanjaksoa, jonka kuluttua akku on saatavilla kierrätykseen. On esimerkiksi arvioitu, että vuonna 2025 ensimmäisen elämänsä lopussa olevista sähköauton akuista ¼ otetaan johonkin uudelleenkäyttökohteeseen useammaksi vuodeksi, minkä päätteeksi ne vasta kierrätetään.⁵¹

⁴⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118302491>

⁴⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718313124>

⁴⁷ <https://www.idtechex.com/research/articles/china-tower-can-absorb-2-million-retired-electric-vehicle-batteries-00015460.asp>

⁴⁸ <https://www.bloomberg.com/news/features/2018-06-27/where-3-million-electric-vehicle-batteries-will-go-when-they-retire>

⁴⁹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718313124>

⁵⁰ <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/63332.pdf>

⁵¹ https://www.researchgate.net/publication/331674512_Lithium_Battery_Reusing_and_Recycling_A_Circular_Economy_Insight

Uudelleenkäyttöön liittyviä ratkaistavia kysymyksiä ovat mm. uudelleenkäytettävien akkujen tuote- ja tuotajavastuu, turvallisuus ja vakuutuslainsäädännön sekä kannattavien liiketoimintamallien löytäminen.

Esimerkiksi akkujen vuokraaminen saattaa tulevaisuudessa olla entistä houkuttelevampaa, jotta akut pysyvät alkuperäisen valmistajan/omistajan kontrollissa ja niiden ympärille on helpompi luoda liiketoimintaa ensimmäisen käyttökierron jälkeenkin, ml. materiaaliarvo kierrätysvaiheeseen siirryttäessä.

2.3.5 Litiumioniakkujen kierrätys

Circular Energy Storage raportin mukaan vuonna 2018 vajaat 200 000 tonnia litiumioniakkuja tuli elinkaarensa päähän (vastaavasti markkinoille saatettiin noin miljoona tonnia uusia litiumioniakkuja). Noin puolet elinkaarensa päähän tulleista akuista tuli kierrätyksen pariin: noin 67 000 tonnia prosessoitiin Kiinassa ja 18 000 tonnia Etelä-Koreassa.⁵²

Litiumioniakkujen kierrätyskapasiteetti on globaalisti suurempi kuin kierrätykseen tulevien akkujen määrä.⁵³ Tilanne on (toistaiseksi) sama sekä Euroopassa että Kiinassa. Tästä huolimatta useat toimijat ovat vuosina 2018-2019 ilmoittaneet kiinnostuksestaan litiumioniakkujen kierrätysliiketoiminnan aloittamiseen tai sen laajentamiseen.

Jäljelle jäänyt puolikas em. elinkaarensa päähän tulleista akuista koostuu kotiin jääneistä/tarkoituksella varastoiduista akuista, akuista, jotka päätyvät muihin jätejakeisiin eivätkä kierrätykseen sekä akuista, jotka päätyvät uudelleenkäyttökohteisiin ennen kierrätystä.

Akun käyttökohde, käyttöolosuhteet ja käyttötavat vaikuttavat siihen, kuinka pitkään akku palvelee kalenterivuosissa. Akun elinikä kalenterivuosissa voi vaihdella alle vuodesta (esim. tiheästi ladattavat työkalut ammattilaiskäytössä) yli 20 vuoteen (esim. vara-akku energianvarastointikohteessa). Sovelluskohde vaikuttaa mm. siihen, kuinka usein akkua ladataan ja miten sitä puretaan. Akun eliniän lataus-purkusuiklessä mitattuna on arvioitu vaihtelevan jopa 500:sta 10 000:een – myös käytetyt materiaalit vaikuttavat elinikään.⁵⁴ Näin ollen akkuja palautuu kierrätykseen sovelluskohteesta riippuen vaihtelevaan tahtiin. Sähköautojen litiumioniakkujen kierrätyksestä saatavien materiaalien on arvioitu nousevan merkittävämmiin tukemaan uusien akkujen valmistusta vasta vuodesta 2030 alkaen – huomioiden akkujen käyttö ensimmäisessä ja toisessa käyttökohteessa ennen kierrätykseen saapumista.⁵⁵

Litiumionien materiaaliarvo riippuu jonkin verran kennotyypistä, mutta esimerkiksi kierrätykseen saapuvien kannettavien litiumionien materiaaliarvo on ollut tähän saakka keskimäärin Taulukon 5 mukainen. Materiaalit ja valmistusmenetelmät kehittyvät jatkuvasti, joten paino-osuudetkin muuttuvat kehityksen myötä.

⁵² http://www3.weforum.org/docs/GBA_EOL_baseline_Circular_Energy_Storage.pdf

⁵³ <https://www.recycling-magazine.com/2018/08/30/batteries-recycling-capacities-exceed-quantities-collected/>

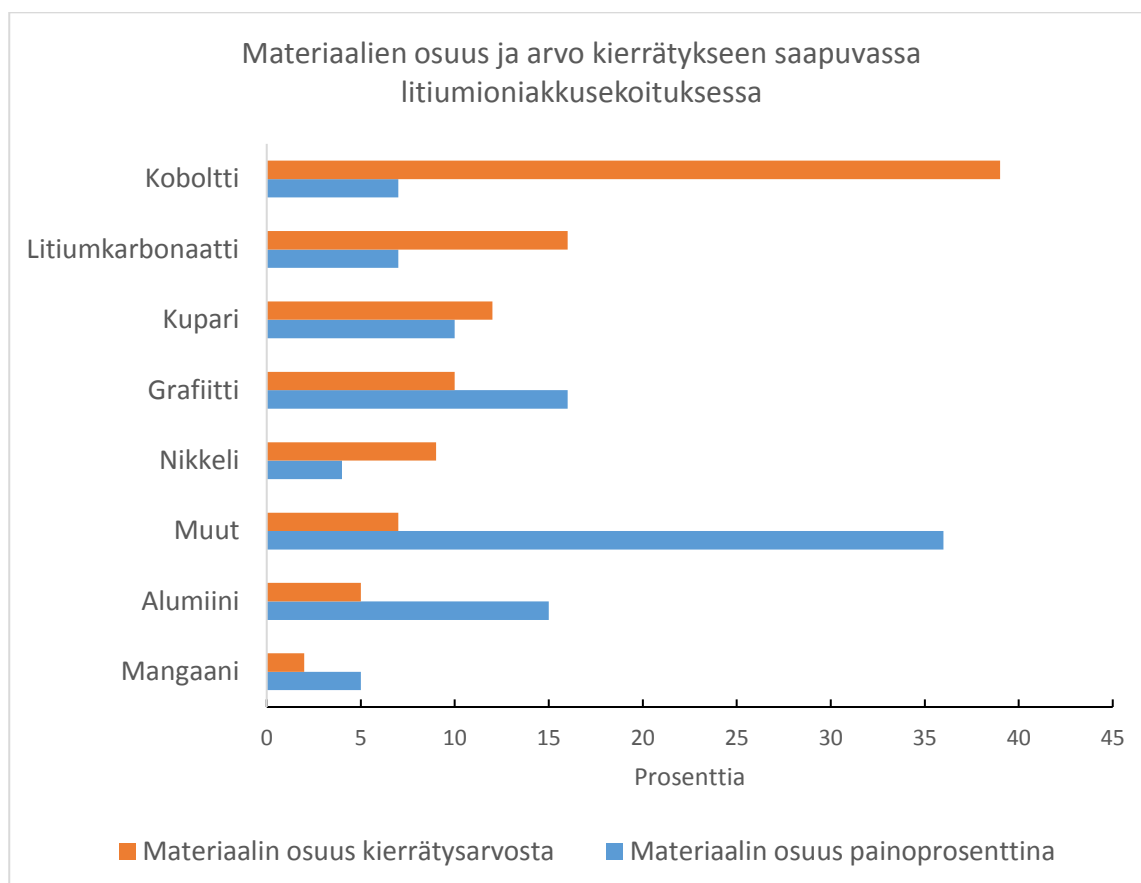
⁵⁴ http://www3.weforum.org/docs/GBA_EOL_baseline_Circular_Energy_Storage.pdf

⁵⁵ <http://www.mining.com/web/ev-battery-recycling-can-plug-gap/>

Taulukko 5 Litiumionikennon materiaalit ja niiden paino-osuudet (v. 2012 ilmestyneen tutkimuksen mukaan)

Kennon osa	Materiaali	Paino-osuus kennosta % ⁵⁶
Kotelo	Al / Teräs / Polymeeri	25
Anodin aktiivimateriaali	Grafiitti (/amorfinen hiili / LTO / Si-yhdiste)	17
Katodin aktiivimateriaali	LCO/NMC/LFP/NCA/LMO tai kombinaatio, esim. LMO + NMC	25
Anodin virrankeräin	Cu	8
Katodin virrankeräin	Al	5
Elektrolyytti	LiPF ₆ + karbonaatit + orgaaninen sidosaine	10
Erottaja	Polymeeri	4

Hieman toisella tavoin esitettyinä tällä hetkellä kierrätykseen tulevan litiumioniakkuseoksen materiaali- ja kauman ja toisaalta kierrätysarvon jakauman on esitetty⁵⁷ olevan Kuvan 9 mukaiset. Arvoon vaikuttavat toisaalta mm. primääri- ja sekundaari-ainesten hinnat ja saatavuus. Lisäksi kierrätyksen kannattavuuteen vaikuttavat myös mm. materiaalien talteenottotehokkuus, sekä kierrätysmateriaalien markkinat ja sijainti.



Kuva 9 Arvio eri materiaalien osuuksista kierrätykseen tulevassa litiumioniakkusekoituksessa ja kunkin materiaalin osuus kierrätysarvosta nykyhetkellä.

Kierrätysprosesseissa materiaalien talteenotto perustuu pyrometallurgisiin, hydrometallurgisiin tai mekaanisiin menetelmiin. Pyrometallurgisissa prosesseissa talteen saadaan otettua erityisesti koboltti ja nikkeli,

⁵⁶ Georgi-Maschler, T., Friedrich, B., Weyhe, R., Heegn, H. and Rutz, M. 2012. Development of a recycling process for Li-ion batteries. Journal of power sources. [Electronic journal]. Vol. 207. P. 173-182. ISSN: 03787753. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2012.01.152.

⁵⁷ <https://patentimages.storage.googleapis.com/01/56/4d/04d9aef27aaf66/WO2018218358A1.pdf>

mutta esimerkiksi alumiini ja litium menetetään kuonaan (josta ne toki voidaan ottaa talteen hydrometallurgisin menetelmin). Toinen litiumioniakkujen kierrätysprosessien päävaihtoehto on käyttää yhdistelmää mekaanisia ja hydrometallurgisia menetelmiä. Tällöin akut yleensä murskataan ensin (suoja-aineessa) ja käsitellään sitten monivaiheisessa prosessissa, jossa materiaaleja erotellaan toisistaan mm. niiden tiheys-, magneettisuus- ja lujuuserojen perusteella. Usein teräs-, alumiini- ja kuparijakeet saadaan otettua talteen jo tässä vaiheessa. Katodimateriaalien talteenotto tehdään tämän jälkeen hydrometallurgisin menetelmin jäljelle jääneestä hienojakeisesta mustasta massasta. Talteen otetut materiaalit vaihtelevat prosesseittain, mutta yleisimmin talteen otetaan koboltti eri muodoissa. Mitä lähempänä kierrätyslaitosta on akkumateriaalien valmistusta, sitä todennäköisempää on, että kierrätysprosessin lopputuloksena on suoraan akkumateriaalien valmistuksessa käytettäviä materiaaleja.

Kiinassa ja Etelä-Koreassa kierrätysprosessien lopputuotteena on mm. kobolttisulfaattia, nikkelisulfaattia ja litiumkarbonaattia, joita voidaan hyödyntää akkumateriaalien tuotantoprosesseissa (esim. Taisen Recycling⁵⁸ ja GEM⁵⁹). Uusia prosesseja, joissa voidaan ottaa talteen katodin aktiivimateriaalin sisältämiä metalleja akkujen valmistuksessa valmiiksi käytettävässä muodossa kuten monimetallihydroksidina, on kehitetty, esimerkkinä Saksassa demomittakaavassa toimiva Dusenfeld.⁶⁰

Erilaisten katodimateriaalien sekoituksen kierrätys on käytännössä haastavaa. Haastatteluissa on ilmennyt, että akkujen esilajittelu on ainakin toistaiseksi välttämätöntä ja esimerkiksi vähän kobolttia sisältäville akkukemioille tarvitaan materiaalien talteenottoasteen maksimoimiseksi erilainen kierrätysprosessi kuin runsas-kobolttisille akuille. Sähköauton akkujen kierrättäminen on katodikemioiden suhteen helpompaa, kun kierrätysprosessissa voidaan kierrättää vain tietynlaisia akkuja, joille prosessi on optimoitu.

Polymeeripohjaiset elektrolyytti ja erottaja, jotka yhdessä muodostavat noin kolmanneksen kennon kustannuksista, eivät tällä hetkellä ole kierrätettävissä. Elektrolyytin kierrätykseen olisi menetelmiä, mutta niitä ei toistaiseksi ole pidetty kannattavina toteuttaa kustannusten ja käytetyn elektrolyytin laadun vuoksi. Elektrolyytti voitaisiin ottaa talteen esimerkiksi sub- tai superkriittisen hiilidioksidin avulla. Samalla menetelmällä voitaisiin ottaa talteen grafiitti.⁶¹

2.3.6 Litiumioniakkujen elinkaaren aikaisista vaikutuksista

Peters et al. (2017)⁶² arvioivat tutkimuksessaan 36:a litiumioniakkujen elinkaarivaikutusten arviointitutkimusta. Tutkimukset valikoituivat analyysin kohteeksi yhteensä 113:sta litiumioniakkujen ja sähköisen liikkuamisen elinkaarivaikutusten arviointitutkimuksesta sillä perusteella, että niissä oli riittävästi tietoa litiumioniakkujen valmistusprosessista sekä riittävästi tietoa, jonka perusteella laskea tulokset kilolle tai wattitunnille energianvarastointikapasiteettia eri tutkimuksissa saatujen tulosten vertaamiseksi. Tutkimuksessa tehtiin seuraavia havaintoja:

- Litiumioniakkujen elinkaarivaikutusten arviointitutkimuksissa on tutkittu eniten energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä.
 - Keskimääräinen litiumioniakkujen valmistuksen energiantarve per kWh energianvarastointikapasiteettia on 328 kWh. Luku on keskiarvo eri akkukemioista.
 - Keskimääräinen litiumioniakkujen valmistuksen kasvihuonekaasupäästöjen määrä per kWh energianvarastointikapasiteettia on 110 kg CO₂eq. Luku on keskiarvo eri akkukemioista.
- 36:sta arvioidusta LCA-tutkimuksesta vain kahdeksassa oli käytetty omia inventaariotietoja – lopuissa hyödynnettiin näiden kahdeksan tietoa tai yhdisteltiin eri tutkimusten tietoa. Tästä huolimatta tutkimuksissa saatujen tulosten kirjo on laaja.

⁵⁸ <https://youtu.be/1kOciqGJDTY>

⁵⁹ <https://roskill.com/news/batteries-gem-signs-agreement-to-supply-170kt-of-raw-materials-to-ecopro/>

⁶⁰ <https://www.electrive.com/2019/01/20/doing-away-with-hazardous-waste-battery-recycling-works/>

⁶¹ <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/27050>

⁶² <https://www.omicsonline.org/proceedings/the-environmental-impact-of-liion-batteries-and-the-role-of-key-parameters-61678.html>

- **Valmistusprosessin mallinnus vaikuttaa energiantarvelaskelmiin huomattavasti.** Ylhäältä-alas mallissa energiantarve perustuu teollisuudesta saatuun kokonaisen valmistuslaitoksen dataan, joka on jaettu laitoksen lopputuotteilla. Alhaalta-ylös mallissa käytetään teollisuudesta saatua tai teoreettisesti mallinnettua dataa, jossa lähtökohtana on akkujen valmistuslinjan ydinprosessien energiankulutus. Alhaalta-ylös mallilla saadut tulokset ovat tutkimuksen mukaan keskimäärin kertaluokan pienempiä verrattuna ylhäältä-alas mallin käyttöön.
- **Tuloksiin käytön aikaisista vaikutuksista** vaikuttaa huomattavasti se, miten monta latauspurku-sykliä akun oletetaan tarjoavan elinkaarensa aikana, kuinka suureksi akun energiatiheys arvioidaan sekä kuinka suureksi sen todellinen energiantuotto (resistanssin johdosta menetetyn energian jälkeen) arvioidaan.
- Akkujen kalenteri-ikäntyminen (esim. akun säilytyslämpötilan aiheuttamat sivureaktiot) huomioidaan vain osassa tutkimuksia ja sille oletetaan vakioarvo 10 vuotta, jota varioidaan ylös- ja alaspäin. Pitkän aikavälin tietoa todellisesta kalenteri-ikäntymisestä ei ole vielä saatavilla, ja kalenteri-ikäntymisen mallintamiseen liittyy vielä epävarmuutta.
- Vaikka litiumioniakut vaikuttavat elinkaarensa aikana myös luonnonvarojen käyttöön, happamoitumiseen sekä toksisuuteen, näitä vaikutuskategorioita on tutkittu litiumioniakkujen elinkaarivaikutusten arviointitutkimuksissa vain harvoin.
 - Luonnonvarojen ja happamoitumisen vaikutusten suurin lähde olemassa olevien tulosten perusteella on fossiilisten polttoaineiden käyttö. Näin ollen sillä, millaista energian- ja sähköntuotantotapaa arvioidaan ja todellisuudessa käytetään, on suuri merkitys lopputulokseen.

2.3.7 Tietoa litiumioniakuista

Akkuteknologiat ja -markkinat kehittyvät nopeasti, ja tieto niistä vanhenee nopeasti. Nopean kehityksen vuoksi julkisuudessa elää myös keskenään ristiriitaisia tietoja ja ennusteita. Taulukkoon 6 on kerätty joitakin ehdotuksia seurattavista tietolähteistä.

Taulukko 6 Tutkimusta ja uutisia litiumioniakuista

Lähde	Osoite
Benchmark Minerals on erikoistunut litiumioniakkujen tuotantoketjuun ja tuottaa tähän liittyvää hintatietoa, analyyseja ja ennusteita	https://www.benchmarkminerals.com/ https://twitter.com/benchmarkmin
Avicenne Energy tuottaa monipuolista tietoa akkumarkkinoiden kehityksestä. Raportit ovat maksullisia, mutta netistä löytyy myös Avicenne Energyn seminaari- ja konferenssiesityksiä akkumarkkinoista (esim. 'The Rechargeable Battery Market and Main Trends').	http://www.avicenne.com/index_english_en.php#&panel1-1
IdTechEx on markkinatutkimus- ja liiketoimintatiedon tuottaja ja analyysoija. Laajaan palvelutarjontaan kuuluvat mm. energianvarastointiteknologiat ja sähköinen liikkuminen.	https://www.idtechex.com/ https://www.idtechex.com/en/timeline https://twitter.com/idtechex
Circular Energy Storage on erikoistunut litiumioniakkujen markkinoiden seurantaan läpi elinkaarren ja tuottaa tietoa mm. akkujen globaaleista uudelleenkäyttö- ja kierrätysmarkkinoista.	https://circularenergystorage.com/ https://twitter.com/hanseric

2.4 Muista akuista ja tulevaisuuden näkymistä

Akut ovat vain yksi tapa varastoida energiaa. Merkittävin energianvarastointimenetelmä maailmassa on pumppuvoimalaitos, joka sopii suurten energiamäärien pitkäaikaiseen varastointiin 'paikallisesti'. Saman tyyppisiä varastointimenetelmiä ovat paineilma ja energian varastointi lämpönä. Akkujen kaltaisia reaktiionopeudeltaan ovat mm. vauhtipyörät ja kondensaattorit. Energiaa voidaan myös varastoida väliaineisiin, kuten vetyyn. Eri energianvarastointiratkaisuilla on omat sovelluskohteensa ja ne eroavat mm. siinä, miten suuria määriä energiaa voidaan varastoida, tapahtuuko varastointi paikallaan vai onko varasto 'kuljetettava', miten nopeasti varastoitu energia saadaan käyttöön ja mikä energianmuunnon hyötysuhde on.⁶³

Seuraavassa tarkastellaan erilaisia uusia akkuvaihtoehtoja nykyisille käytössä oleville akuille ja pohditaan myös markkinoilla jo olevien akkujen tulevaisuutta.

Lukuisia uusia akkumateriaaleja ja akkutyyppejä tutkitaan koko ajan. Deloitte on vuonna 2015 arvioinut potentiaalisimmiksi markkinoille tuleviksi uusiksi akkutyypeiksi Taulukkoon 7 kerättyjä akkuja. CleanTechnican⁶⁴ mukaan Japanin akkusymposiumissa vuodesta 2012 lähtien kiinteän elektrolyytin akut, litium-ilma-akut ja ei-litiumia-sisältävät akut ovat aiheina alkaneet syrjäyttää litiumioniakkuja ja polttokennoja tutkimuskohteena.

Taulukko 7 Potentiaaliset 'gamechanger'-akut kypsyyssasteineen Deloitteen⁶⁵ ja CleanTechnican mukaan. Lähimpänä kaupallistamista olevat akut ovat taulukossa ylimpänä, kauempana siitä olevat alempana. Tarkempaa tietoa mm. taulukon uusista akkutyypeistä löytyy esimerkiksi Battery Universityn sivuilta.

Sovellus	Etuja/ varjopuolia	Kypsyyssaste	Sovelluskohteita/esimerkkejä
Kiinteän elektrolyytin akut (solid state batteries)	+ energiatiheys + ei jäähdystarvetta + kiinteä elektrolyytti ei syty helposti + sietävät hyvin lämpötilavaihteluita - korkea resistanssi elektrolyytin ja elektrodien rajapinnoilla	Tuotannon aloituksesta ilmoitettu / tutkimus runsasta	Start-up Qing Tao Energy Development Co ⁶⁶ Prologium ⁶⁷

⁶³ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138814000708>; <https://www.smartpowergeneration.com/content-center/books/power-supply-challenges-english>

⁶⁴ [Panasonic Hints At 'Beyond Lithium' Technology For EV Battery Improvements](#)

⁶⁵ [Energy storage: Tracking the technologies that will transform the power sector. Deloitte 2015.](#)

⁶⁶ <https://electrek.co/2018/11/20/china-production-solid-state-batteries/>

⁶⁷ <https://technode.com/2019/05/10/interview-taiwanese-solid-state-battery-maker-prologium-seeing-adoption-in-electric-vehicles/>

Natrium-ioni	+ raaka-aineiden parempi saataavuus ja edullisuus (hinnasta ja resursseista tarkemmin ⁶⁸) + turvallisuus (riippuu tosin materiaaleista ja testataan vielä) - pienempi energiatiheys Li-ioniakkuun verrattuna ⁶⁹	Kaupallisia ja laboratoriotyyppisiä kehitetään	Energian stationaarinen varastointi, kevyet sähköiset liikennevälineet, starttiakut Broadbit ⁷⁰ The Smart Sodium Storage System Project ⁷¹ Faradion ⁷²
Nestemäiset akut	+ nestemäiset aktiiviset aineet mahdollistavat muita akkuja korkeamman käyttölämpötilan + pitkä käyttöikä	Kaupallista prototyyppiä kehitetään	Energian stationaarinen varastointi Ambri ⁷³
Magnesium-pohjaiset akut	+ hyvä energiatiheys - kalliit materiaalit	Perus- ja soveltava tutkimus	Esimerkiksi Toyota on tutkinut magnesiumakkuja ⁷⁴
Fluoridi- ja kloridi-ioniakut	+ hyvä energiatiheys + hyvä 'tehotiheys' - ei toimi vielä huoneenlämpötilassa	Perus- ja soveltava tutkimus	⁷⁵
Metalli-ilma-akut⁷⁶	+ hyvä energiatiheys + raaka-aineiden edullisuus ja saataavuus - korrosio	Perus- ja soveltava tutkimus / Käytössä olevat alumiini-ilma-akut	Phinergy ⁷⁸ Artikkeli (2016) ladattavien metalli-ilma-akkujen kehityksestä ⁷⁹

⁶⁸ <https://www.nature.com/articles/natrevmats201813>

⁶⁹ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5989704/>

⁷⁰ <http://www.broadbit.com/#menu-home>

⁷¹ <http://s4.isem.uow.edu.au/blog/>

⁷² <https://www.faradion.co.uk/>

⁷³ <https://www.greentechmedia.com/articles/read/ambri-is-still-alive-and-chasing-its-liquid-metal-battery-dreams#gs.Dvdkmozg>; <http://www.ambri.com/technology/>

⁷⁴ <https://www.greencarcongress.com/2018/12/20181222-dong.html>

⁷⁵ <https://www.batterypoweronline.com/news/what-the-fluoride-ion-battery-breakthrough-really-means/>

⁷⁶ http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/03/EASE_TD_M-Air.pdf

⁷⁸ <http://www.phinergy.com/product/>

⁷⁹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246802571630019X>

	- toistaiseksi 'primääriparistomainen'	ovat käytännössä primääriparistoja ⁷⁷	
--	--	--	--

Markkinoilla jo olevia, mahdollisesti tulevaisuudessa yleistäviä akkutyyppejä ovat erilaiset virtausakut, esim. vanadiiniakut, joita käytetään erityisesti energian varastointiin suuressa mittakaavassa. Virtausakuissa energia varastoidaan elektrolyyttiin, toisin kuin edellä käsitellyissä 'kiinteän olomuodon akuissa'. Eri tyyppisiä virtausakkuja on ollut markkinoilla jo 1970-luvulta saakka.⁸⁰

Toinen mahdollisesti yleistävä, uusi akkutyyppejä ovat Natrium-rikki-akut (NaS), joita myös käytetään laajan mittakaavan energian varastointiin. Tämä akkutyyppejä on kehitetty jo 1960-luvulla.⁸¹

Euroopassa on mahdollisesti odotettavissa lähivuosina muutoksia lyijyakkujen käyttöön: lyijyn käyttöä tarkastellaan EU:ssa kriittisesti. Euroopan komissio tarkastelee lyijyakkujen tulevaisuutta henkilö- ja pakettiautojen osalta uudelleen vuonna 2019. Tähän saakka valtaosa lyijyakkujen sisältämästä lyijystä on kierrätetty uusien lyijyakkujen raaka-aineeksi. Kiertotalouden näkökulmasta on mielenkiintoinen kysymys, mitä tälle lyijylle tapahtuu siinä vaiheessa, kun lyijyakkujen valmistusta ei enää ole Euroopassa.

Tällä hetkellä lyijyakun korvaajaksi (erityisesti starttiakkuna) ei ole tiedossa vastaavanlaista akkutyyppejä. Kuitenkin lyijyakut muodostivat esimerkiksi vuonna 2016 lähes 50 prosenttia ladattavien akkujen markkinoista, joten lyijyakun korvaaminen on myös liiketoiminnan näkökulmasta mielenkiintoinen kysymys, varsinkin kun esimerkiksi litiumioniakuille on paljon muitakin käyttökohteita.

Akkujen tulevaisuuden käyttötarpeet vaikuttavat siihen, minkälaisia akkuja tai muita energianvarastointiratkaisuja markkinoille tulee/kannattaa tuoda. Erityisesti sähköisen liikkumisen ja älykkäiden ja joustavien energiajärjestelmien lisääntymisen myötä akkujen tarve on edelleen kasvamassa. Toisaalta myös akkujen käytön yleistäminen lisää niiden potentiaalisia uusia käyttökohteita.

Taulukko 8 Tietoa energiasta, energianvarastoinnista ja sovelluksista

Lähde	Osoite
BloombergNEF	https://about.bnef.com/blog/
International Energy Agency	https://www.iea.org/
Greentech Media	https://www.greentechmedia.com/

3 Akkuihin liittyviä strategisia linjauksia, ohjelmia, poliittisia päätöksiä ja lainsäädäntöä

Tähän osioon on koottu tietoa akkuihin liittyvistä strategisista linjauksista, ohjelmista, poliittisista päätöksistä ja lainsäädännöstä. Luettelo ei ole kattava.

⁷⁷ <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/stories/blog/33341>

⁸⁰ [Flow Batteries](#) / Energy Storage Association ESA

⁸¹ [Sodium Sulfur \(NAS\) Batteries](#) / Energy Storage Association ESA

Suomessa kansallisessa **energia- ja ilmastostrategiassa vuoteen 2030**⁸² (2017) on asetettu tavoitteeksi, että maassamme on vuonna 2030 käytössä vähintään 250 000 sähkökäyttöistä autoa. Strategiassa myös edellytetään sähköjärjestelmän energiatehokkuuden lisäämistä sekä kaavaillaan tukea kustannustehokkaalle uusiutuvaan energiaan perustuvalla uudella sähköntuotannolla.

Energia- ja ilmastostrategian jatkotyönä liikenne- ja viestintäministeriön liikenteen ilmastopolitiikan työryhmä (ILMO) selvitti, miten liikenteen kasvihuonekaasut voidaan pitemmällä aikavälillä poistaa. Työryhmän loppuraportissa joulukuussa 2018 sähköautojen tavoitemääräksi vuodelle 2030 suositeltiin noin 670 000 ja vuodelle 2045 noin 1 000 000 sähköautoa.⁸³

Kansallisessa ohjelmassa **'Liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkko'** linjataan mm. sähköautojen latausverkoston rakentamisen periaatteet ja esitellään tarvittavia toimijoita ja ohjauskeinoja kattavan latausverkoston saavuttamiseksi.⁸⁴ Ohjelma perustuu EU:n direktiiviin (2014/94/EU) liikenteen vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta (nk. jakeluinfradirektiivi).

EU:n puhtaan energian paketti on kehys, jossa mm. lainsäädännön ja investointien keinoin pyritään saavuttamaan EU:ssa vähintään 40%:n kasvihuonekaasujen vähennys vuoteen 2030 mennessä.⁸⁵

SET-Plan on Euroopan Unionin energia- ja ilmastopolitiikan teknologiapilari. Sen tarkoituksena on edistää vähähiilisten teknologioiden kehittämistä ja käyttöönottoa. Kilpailukykyisyys sähköisen liikkumisen ja energianvarastoinnin akuissa on yksi suunnitelman painopistealueista. Suunnitelmaa toteutetaan mm. tutkimusta ja innovaatioita koordinoimalla.⁸⁶

Euroopan komissiossa on käynnistynyt syksyllä 2018 työ teollisuusakkujen kestävyyskriteerien määrittelymiseksi ekodesignin näkökulmasta.⁸⁷ Työ liittyy tavoitteeseen laajentaa EU:n Ecodesign-direktiivin sovel-lusala resurssitehokkuuteen kiertotalousratkaisujen edistämiseksi.⁸⁸

⁸² <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-190-6>; katso myös Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80703/YMra_21_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁸³ https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/25f36343-b43d-4a4e-8bd4-83b78fd0188f/ebc53b06-0bf8-474a-9e78-aa59944455a3/RAPORTTI_20181212100813.pdf

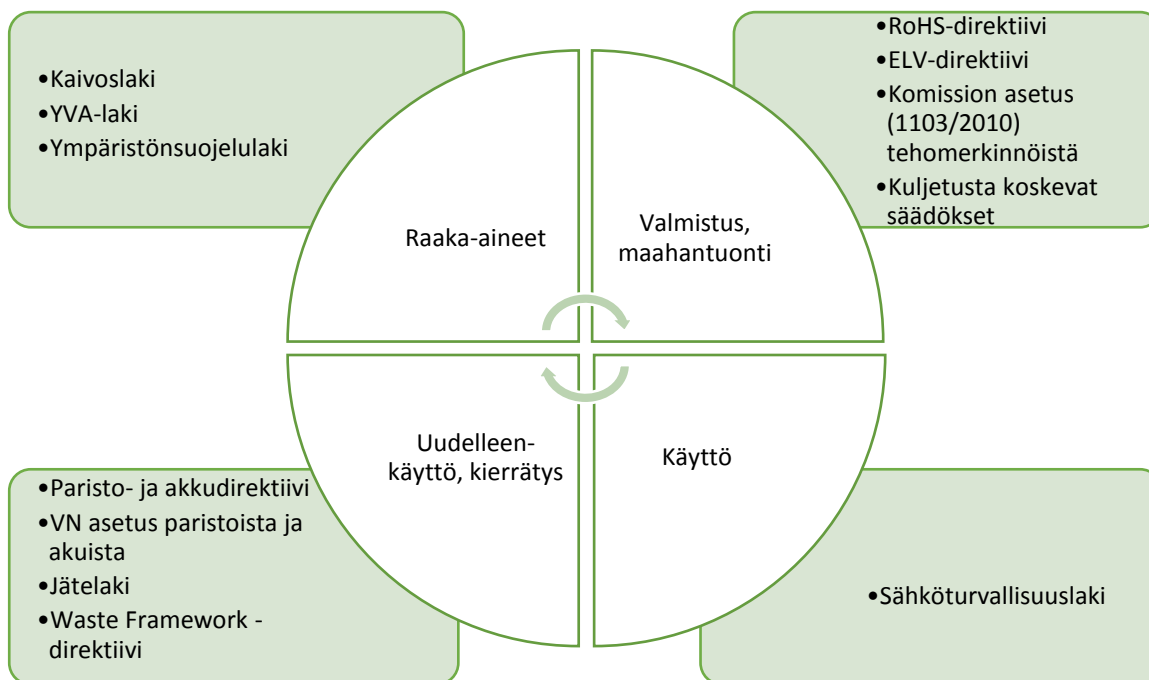
⁸⁴ <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79530/Raportit%20ja%20selvitykset%204-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁸⁵ <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>;
https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-all-europeans-package-completed-good-consumers-good-growth-and-jobs-and-good-planet-2019-may-22_en;

⁸⁶ <https://ec.europa.eu/research/energy/index.cfm?pg=policy&policyname=set>

⁸⁷ <https://ecodesignbatteries.eu/welcome>

⁸⁸ <http://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-new-boost-for-jobs-growth-and-investment/file-ecodesign-for-circular-economy>; <http://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180522STO04021/ecodesign-directive-from-energy-efficiency-to-recycling>; http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/611015/EPRS_STU%282017%29611015_EN.pdf



Kuva 10 Akkujen elinkaareen liittyvää lainsäädäntöä

Akkuraaka-aineisiin liittyvät oleellisesti mm. [Kaivoslaki](#) (621/2011), [Ympäristönsuojelulaki](#) (527/2014), ja [Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä](#) (252/2017), mutta myös paljon muuta lainsäädäntöä. [Kaiva.fi](#)-sivustolla voit tutustua kaivannaisalan lainsäädäntöön tarkemmin.

Jätelaissa (646/2011) määritellään mm. [tuottajavastuun ydinkohdat](#). **Paristoista** ja akuista on lisäksi annettu [valtioneuvoston asetus](#) (520/2014), joka määrittelee toimet, joilla 'vähennetään paristojen ja akkujen haitallisuutta sekä edistetään käytöstä poistettujen paristojen ja akkujen kierrätystä ja muuta hyödyntämistä ja parannetaan niiden käsittelyn laatutasoa'.

EU:n paristo- ja [akkudirektiivissä](#) (2006/66/EY) asetetaan mm. akkujen keräys- ja kierrätystavoitteet. Kannettavien paristojen ja akkujen keräystavoite on 45%. Teollisuusakuille keräys- ja kierrätystavoite on 100%. Lisäksi kierrätystehokkuustavoitteet (kuinka paljon materiaaleista saadaan otettua talteen) ovat akkutyypeittäin:

- Lyijyakut 65%
- NiCd 75%
- Muut 50 % (tähän ryhmään kuuluvat mm. litiumioniakut, NiMH-akut sekä primääriparistot).⁸⁹

Paristo- ja akkudirektiivin evaluoinnin tueksi tehty tutkimus valmistui lokakuussa 2018 ja varsinainen evaluointi huhtikuussa 2019. Tutkimuksessa suositeltiin, että direktiivin uudessa versiossa sähköiseen liikkumisen ja hajautettuun energiavarastointiin käytettävät litiumioniakut eriytetään omaksi ryhmäkseen teollisuusakkujen joukosta, koska niiden käyttö lisääntyy nopeasti ja niitä on paljon kuluttajien käytössä. Siten niille voitaisiin määrittellä yksilölliset keräystavoitteet, minimi keräysinfrastruktuurin laajuus sekä tuottajavastuun raportointivaatimukset. Myös tarve litiumioniakkujen kierrätystehokkuuden määrittelylle sekä litiumin ja

⁸⁹ <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams/batteries>

muiden materiaalien talteenottotavoitteille nostettiin raportissa esiin. Evaluoinnissa huomautettiin myös, että akkujen uudelleenkäytön edistäminen edellyttäisi uudelleenkäytön käsittelyä direktiivissä.⁹⁰

Niin kutsutussa RoHS-direktiivissä ([2011/65/EU](#)) määritellään tiettyjen haitallisten aineiden, kuten lyijyn ja kadmiumin, sallitut enimmäispitoisuudet sähkö- ja elektroniikkalaitteissa. ELV-direktiivi ([2000/53/EC](#)) rajoittaa mm. lyijyn ja kadmiumin käyttöä auton osissa, kuten akuissa. Direktiivin liitteessä määritellään myös poikkeukset käyttökieltoon määräaikoineen.

Myös [Waste Framework](#) -direktiivi vaikuttaa akkuihin, sillä direktiivi määrittelee, millä edellytyksillä jäte lakkaa olemasta jäte. Kun akkumateriaalilta poistuu jätestatus (prosessoinnin tuloksena), on muillakin toimijoilla kuin vain akun maahantuojiilla/valmistajilla oikeus ko. materiaaliin. [Jätelaissa](#) toisaalta määritellään, että uudelleenkäyttöön tai sen valmisteluun liittyvien palvelujen tarjoaminen on sallittua kaikille toimijoille eli sitä ei ole rajattu vain tuottajien oikeudeksi.

Akkuja ja paristoja koskevat vaarallisten aineiden kuljetusta koskevat säädökset ja määräykset. Sekä kansalliset että kansainväliset säädökset ja määräykset on koottu [Traficomien sivuille](#).

4 Akkuekosysteemin toimijoita Suomessa

Tässä osiossa on esitelty lyhyesti akkuketjun eri vaiheita Suomen näkökulmasta sekä keväällä 2018 tehdyissä haastatteluissa ja muussa tiedonkeruussa esiin tulleita haasteita ja huomioita sekä liiketoiminta- ja pilotti-ideoita.

Akkuihin liittyvää viranomaiskenttää on kuvattu lyhyesti luvussa 5. Toimijoita on kuvattu lyhyesti liitteessä 1.

4.1 Raaka-aineet ja valmistus

4.1.1 Yleistä

Raaka-aineet

Suomessa tuotetaan sekä akkujen raaka-aineita, että jalosteita. Toiminnassa olevissa kaivoksistamme löytyy mm. **nikkeliä, kobolttia, sinkkiä ja kuparia**. Nikkelin ja koboltin tuotantomäärät ovat jatkossa lisääntymässä.

Suomessa tuotetaan tällä hetkellä myös mm. akkuteollisuuden käyttämiä nikkeli- ja koboltti**jalosteita** kuten sulfaatteja.

Suomessa on myös huomattava **litiumesiintymä** Keski-Pohjanmaalla. Suomesta löytyy myös **grafiittiesiintymiä**.

GTK on saanut keväällä 2018 tehtäväkseen selvittää Suomen akkumineraalivarantojen ja -potentiaalinkin kotimaisen akkuklusterin vahvistamiseksi.⁹¹

⁹⁰ http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/pdf/evaluation_report_batteries_directive.pdf; <http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/Published%20Supporting%20Study%20Evaluation.pdf>

⁹¹ https://www.loimu.fi/lehti/artikkelit/2018/5/GTK%3Alle_miljoonan_lisarahoitus_akkumineraalien_etsintaan

Taulukko 9 Akkuraaka-ainevarantojen, -tuotannon ja -jalostuksen tilanne Suomessa⁹²

	Varanto (hyödynt.)	Tuotanto	Jalostus
Koboltti	x	x	x
Litium	x	E 2021-	E 2021-
Nikkeli	x	x	x
Grafiitti	x		
Vanadium	x		

Keliber on aloittamassa litiumin tuotannon ja litiumhydroksidin jalostuksen vuonna 2021. Terrafame suunnittelee nikkeli- ja kobolttisulfaatin jalostuksen aloitusta.

BASF Harjavalta suunnittelee litiumioniakun katodiprekursorimateriaalin tuotannon aloittamista Harjavallassa. Tehtaan ympäristövaikutusten arviointiprosessi valmistui keväällä 2019.⁹³ Ennakoitu tuotannon aloitusajankohta on vuonna 2020. BASF tekee yhteistyötä Harjavallassa sijaitsevan Norilsk Nickelin kanssa.

Valmistus

Valmet Automotive kokoonpanee akkuja, joita käytetään mm. Avant sähkökuormaajassa. Valmet Automotive aloittaa tämän hetkisten suunnitelmien mukaan akkupakettien suursarjatuotannon Salossa vuoden 2019 aikana.⁹⁴

Geyser Batteries aloittaa tämän hetkisten suunnitelmien mukaan teollisuuden akkujen valmistuksen Vaasassa vuoden 2019 aikana. Akut on suunniteltu yhteensopiviksi Wärtsilän hybridimoottorien ja muiden hybridiratkaisujen kanssa.⁹⁵

Finnish Batteries suunnittelee litiumioniakkujen tuotannon aloittamista Janakkalassa. Tehtaassa tuotettaisiin energian varastointiin tarkoitettuja litiumrautafosfaattiakkuja.⁹⁶

Vaasaan on kaavoitettu tontti akkutehtaalle.⁹⁷

4.1.2 Raaka-aineisiin ja valmistukseen liittyvät haasteet ja huomiot

Omavaraisuus sekä Suomen että Euroopan tasolla on noussut tärkeäksi kysymykseksi ja tähän liittyen on käynnistetty erilaisia hankkeita, mm. litiumioniakkujen materiaaleihin ja akkujen valmistukseen liittyen. Hankkeissa huomioidaan sekä primäärit että kierrätysmateriaalit.

Valmistusvaiheessa voidaan **vaikuttaa** paljon **akkujen kierrätettävyyteen** sekä materiaalivalintojen että kokoonpanotekniikoiden kautta. Kierrätyksen näkökulmasta pidettiin tärkeänä huomioida akun elinkaaren loppupää valmistusvaiheessa.

Yksi osaamisalueemme voisi olla akkujen valmistus haastaviin sääolosuhteisiin.

⁹² Tiainen & Ahtola 2018, GTK

⁹³ <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/-/basf-se-n-harjavaltaan-sijoittuvan-akkumateriaalitehdashankkeen-ymparistovaikutukset-arvioitu-hanke-on-toteuttamiskelpoinen-aloitusvaiheen-tuotantomaa>

⁹⁴ <https://www.valmet-automotive.com/fi/media/uutiset/valmet-automotive-suunnittelee-akkujen-suursarjatuotantoa-saloon/>

⁹⁵ <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/metalli/vaasassa-alkaa-superakkujen-valmistus-geyser-batteriesin-teknologia-kehitetty-venajalla-pohjalainen-wartsila-sparrasi-6737794>; <http://geyserbatteries.com/>

⁹⁶ <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/hameen-sanomat-valtava-akkutehdas-suunnitteilla-janakkalaan/b62329b5-ddfa-4736-a6ea-ce6769e153a6>

⁹⁷ <https://yle.fi/uutiset/3-10013203>

4.2 Maahantuonti

4.2.1 Maahantuontiin liittyvä toimijakenttä Suomessa

Akkuja tuovat maahan kannettavien akkujen ja niitä sisältävien laitteiden maahantuojat, ajoneuvoakkujen ja autojen maahantuojat sekä teollisuusakkujen maahantuojat. Akkujen ja paristojen maahantuojia on tällä hetkellä noin 770.⁹⁸ Nämä maahantuojat ovat vastuussa maahan tuomiensa akkujen ja paristojen jätehuollon järjestämisestä ja sen kustannuksista. Myös kuluttajat itse ovat maahantuojia tilatessaan akkuja tai niitä sisältäviä laitteita ulkomaalaisesta verkkokaupasta, mutta tuottajavastuu ei koske heitä. Etämyynnin kautta maahan tulleiden akkujen ja paristojen jätehuollosta huolehtivat kollektiivisesti tuoteryhmän tuottajavastuussa olevat tuottajat eli käytännössä tuottajayhteisöt. Maahantuontiin liittyviä haasteita on käsitelty kohdassa 4.3.2 (kuluttajanäkökulma) sekä kohdassa 4.4.2 (tuottajavastuunäkökulma ja kierrätysteknologioiden näkökulma).

4.3 Käyttö ja käyttöpalvelut

4.3.1 Yleistä

Akkujen käyttö on laaja kokonaisuus, koska akkujen sovellusalat ovat moninaiset. Käyttökohteet voidaan jakaa esimerkiksi pääluokkiin

- kuluttajalaitteet (joissa käytetään kannettavia akkuja ja paristoja)
- liikkuminen ja liikuttaminen (joissa käytetään hyvin laajaa kokoskaalaa teollisuusakkuja ja ajovoima-akkuja ja käyttäjiä ovat sekä kuluttajat että teollisuus)
- varastointi (johon käytetään suuria, yleensä paikallaan olevia teollisuusakkuja mm. tasaamaan uusiutuvan energian tuotannon ja kysynnän vaihtelua tai suojaamaan sähköverkkoa liian suurilta sähkötaajuuden- ja tehon vaihteluilta).

Akkujen käyttö on lisääntymässä erityisesti liikkumisessa, liikuttamisessa ja varastoinnissa. Erilaiset kuluttajien käyttämät kevyet liikennevälineet - esimerkiksi sähköpyörät ja -potkulaudat ja -skootterit - yleistyvät koko ajan. Kevään 2019 aikana 3 yrittäjää on aloittanut sähköpotkulautojen vuokrauksen Helsingissä ja yksi Tampereella.⁹⁹

Myös sähköautot ja ladattavat hybridit yleistyvät kuluttajakäytössä, vaikka niiden määrä nopeasta kasvusta huolimatta on toistaiseksi ollut vielä pieni. 31.3.2019 Suomessa oli liikennekäytössä noin **3 000** (1 700 / 1 000) **sähköautoa** ja noin **15 600** (7 400 / 3000) ladattavaa hybridiautoa (suluissa määrät 2018/2017). Määrät koskevat henkilöautoja. Bensa- ja dieselkäyttöisten henkilöautojen määrä oli 31.12.2018 noin 2,67 miljoonaa.¹⁰⁰

⁹⁸ Emmi Lehkonen / PIRELY. Mitä tuottajavastuulla tarkoitetaan? Esitys Litiumakut tulivat, olemmeko valmiit? -seminaarissa 22.3.2018.

⁹⁹ <https://www.hs.fi/talous/art-2000006087078.html>; <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000006108632.html>; <https://www.aamulehti.fi/a/51873d65-6dcb-4423-9a98-204cdcb1a5ad>

¹⁰⁰ <https://www.traficom.fi/fi/ajoneuvokannan-tilastot>

Sähkökäyttöisiä ajoneuvoja lisätään myös julkisessa liikenteessä. Ainakin Tampereella¹⁰¹, Turussa¹⁰² ja Helsingin seudulla on käytössä sähköbussseja. Pääkaupunkiseudulla on tavoitteena, että vuoteen 2025 mennessä sähköbussseja on liikenteessä jo 400.¹⁰³ Helsingissä kokeillaan myös täyssähköistä jäteautoa syksystä 2020.¹⁰⁴

Teollisuudessa sähkökäyttöisiä koneita ja laitteita on jo kehitetty ja kaupallistettu mm. kaivosteollisuuden ja satamien tarpeisiin. Raskaiden teollisuuden työkoneiden sähköistämisessä on arvioitu tarjoavan lähes 90 miljardin markkinat. Markkinoille kaivataan enemmän toimijoita, sillä työkoneiden sähköistämisessä on omat vaatimuksensa verrattuna esimerkiksi autojen sähköistämiseen.¹⁰⁵ Mahdollisuutta lisätä akkujen käyttöä tutkitaan laivanvarustusteollisuudessa. Laivoilla mm. toimintavarmuus ja paloturvallisuus asettavat erityisvaatimuksia akkujen käytölle. Lisäksi laivojen kuormitus vaihtelee voimakkaasti sekä ulkoisten (sää, reitti, vuorokauden aika, satama/liike) että sisäisten tekijöiden vuoksi.

4.3.2 Käyttövaiheeseen liittyvät haasteet ja huomiot

Käyttövaiheeseen liittyviä haasteita on koottu Taulukkoon 10 **kuluttajan** näkökulmasta, sillä se nousi esiselvitysvaiheessa esiin useita kertoja.

¹⁰¹ <https://yle.fi/uutiset/3-10505563>

¹⁰² <https://www.foli.fi/fi/ef%C3%B6li-s%C3%A4hk%C3%B6bussit>

¹⁰³ <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/hsl-valmistelee-sahkobussien-lapimurtoa-tavoite-on-etta-vuonna-2025-kolmasosa-busseista-toimisi-sahkolla/5bb091f1-1a45-470f-b5e4-1591852d110d>

¹⁰⁴ <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/autot/helsingissa-testataan-tayssahkoista-roska-autoa-talviset-olosuhteet-viela-kysymysmerkki-6765395>

¹⁰⁵ <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/metalli/raskaiden-tyokoneiden-sahkoistamisessa-lahes-90-miljardin-markkinat-puhtaampi-ilma-kaivoksissa-tuo-jopa-yli-50-kustannussaastot-6696025>

Taulukko 10 Esiselvitysvaiheessa esiin tulleita akkuihin liittyviä toiminnallisia ja tiedollisia haasteita **kuluttajanäkökulmasta**.

Haasteet ja kehittämistarpeet: kuluttajanäkökulma	Raaka-aineet ja valmistus	Maahantuonti ja jälleenmyynti	Käyttö	Keräys- ja kierrätysjärjestelmän tarjoaminen ja ylläpito (tuottajavastuu)	Kierrätys-tekniologiat
Toiminnalliset haasteet		<p>Kansainvälinen verkko-kauppa lisääntyy nopeasti. Nk. kuluttajien 'omassa tuonnissa' on todettu seuraavanlaisia ongelmia:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Käytettyjä tai huonolaatuisia/turvattomia kennoja myydään merkkiakkuina ja merkkiakkujen koteloissa * Kuluttajalle myydään etäkaupassa viallisia akkuja * Kuluttajalle ei kerrota, että etäkaupalla ostettua viallista akkua ei voikaan palauttaa takaisin ostomaahan. 	<p>Akut</p> <ul style="list-style-type: none"> * Pienteollisuusakkujen (esim. sähköpyörät, leijulaudat) turvallinen käyttö, lataaminen ja säilytys. * Akkujen resurssitehokas käyttö. <p>Avaintoimijat:</p> <ul style="list-style-type: none"> * jälleenmyyjät * taloyhtiöt <p>Sovellukset</p> <p>Riittävän ja kuluttajan tarpeet täyttävän latausverkoston tarjoaminen ladattavien autojen käyttäjille.</p> <p>Avaintoimijat:</p> <ul style="list-style-type: none"> * kunnat, energiayhtiöt, taloyhtiöt, liikekiinteistöt, rakennuttajat ja kuluttajat yhteistyössä 	<p>Käytettyjä, kannettavia akkuja löytyy edelleen paljon suomalaisten kodeista. Ne odottavat kierrätykseen viemistä tai toimivat vara-akkuina. Turvallisuus- ja resurssitehokkuussyistä akut olisi syytä saada kierrätysprosessiin.</p>	
Viestinnälliset haasteet/tarpeet	<p>Kuluttajien tietoisuutta akkujen ja akkuja käyttävien sovellusten sisältämisestä raaka-aineista tulisi lisätä.</p> <p>Kuluttajat ovat myös tärkeässä asemassa uusien, ekologisesti kestävämpien tuotteiden käyttöönotossa. Parempi tietoisuus tuotteiden sisältämisestä materiaaleista ja kierrätettävyydestä</p>	<p>Kuluttajien tietoisuutta etäkauppaan sisältyvistä riskeistä olisi syytä lisätä.</p>	<p>Akut</p> <p>Kuluttajille tulisi viestiä aktiivisesti akkujen resurssitehokkaista ja turvallisista käyttötavoista sekä yleisesti että mm. ostohetkellä (jälleenmyyjät).</p> <p>Sovellukset</p>	<p>Kuluttajien informointi</p> <ul style="list-style-type: none"> * erilaisten akkujen keräysjärjestelmistä * akkujen palautuksen tärkeydestä * vanhojen akkujen kotona säilyttämisen riskeistä. 	<p>Kuluttajien motiivointi kierrättämiseen on tärkeää - kierrätysvaiheen merkitys pitäisi pystyä näyttämään suuremman kokonaisuuden osana.</p>

	voisivat ohjata kulutuskäyttäytymistä kestävämpään suuntaan.		Osallistujajoukoltaan riittävän laajat infot siitä, mitä sähköautojen leistyminen ja niiden sujuva käyttö edellyttävät mm. latausinfalta.		
--	--	--	---	--	--

Käyttövaiheeseen liittyviä **liiketoiminta- ja pilotti-ideoita sekä tutkimuskohteita:**

- uudelleenkäytön mahdollisuudet (haasteena toistaiseksi vielä käytettyjen, suurehkojen akkujen vähäinen määrä esim. sähköautoista)
- älykäs energiaverkko, jossa yhdistetty esim. aurinkovoima, energian varastointi sekä autojen kaksisuuntainen lataus
- latauspisteiden rakentaminen (yhteistyössä rakennuttaja, kunta, kuluttajat)
- uuden sähköauton hankinnan mallit ja akkujen omistussuhteet (kaupunki)
- turvallisuuskysymykset, esim. sähköpyörien turvallinen lataus.

4.4 Keräys, kuljetus ja kierrätys

4.4.1 Yleistä

Akkujen ja paristojen keräys, kuljetus ja kierrätys on Suomessa järjestetty tuottajavastuujärjestelmien kautta. Tuottajavastuujärjestelmän rakentamisesta ja sen kustannuksista, sekä järjestelmästä tiedottamisesta ovat vastuussa **tuottajat**, eli akkujen maahantuojat ja valmistajat. Esimerkiksi akkujen jälleenmyyjät eli jakelijat, jotka eivät itse tuo akkuja maahan, eivät ole tuottajavastuussa olevia tuottajia. **Kannettavien akkujen ja paristojen jakelijoilla** on kuitenkin velvollisuus ottaa kannettavat akut ja paristot maksutta vastaan – mutta esimerkiksi teollisuusakkujen jakelijoilla ei ole vastaavaa velvollisuutta.

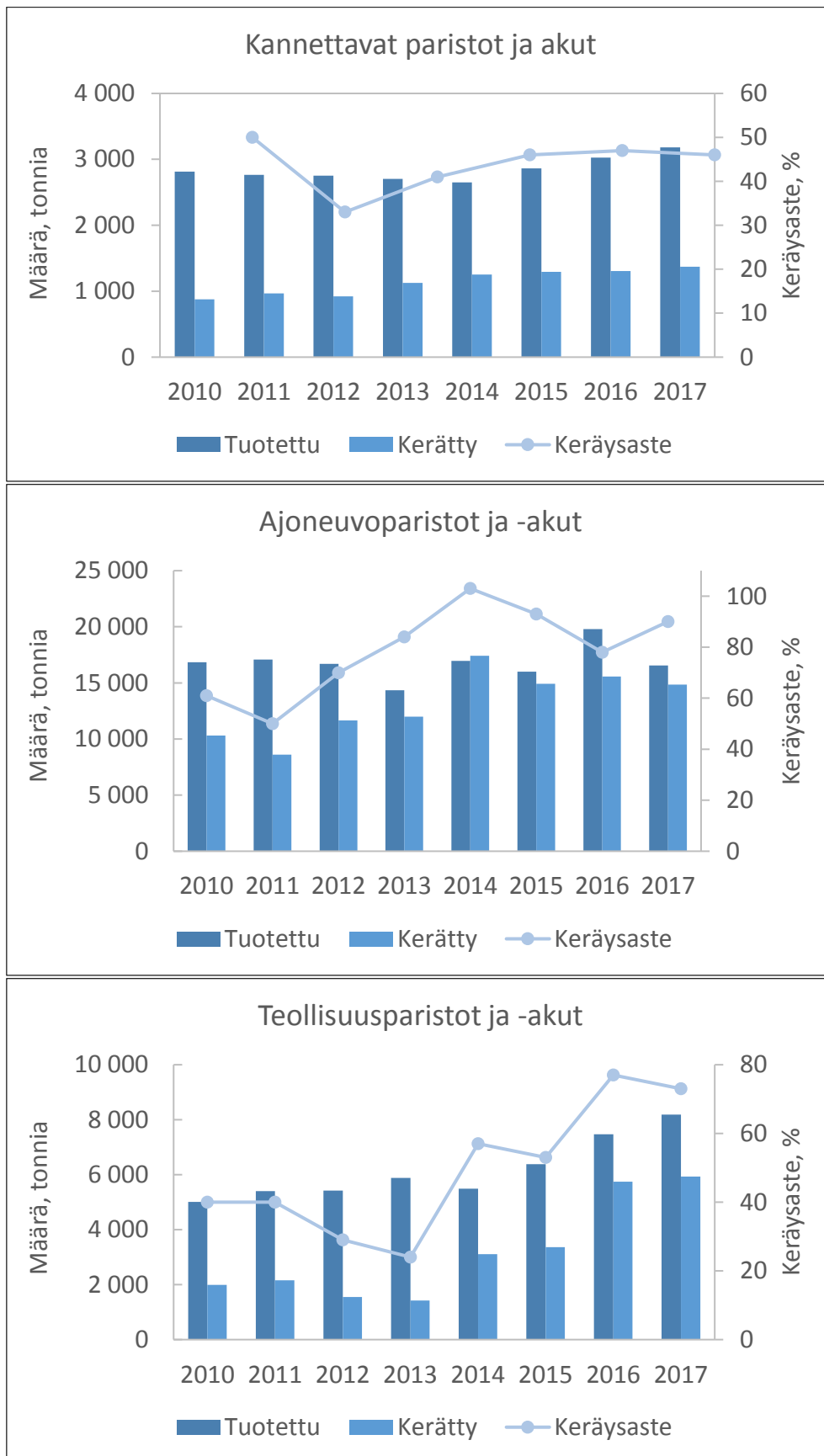
Maahantuojat ja valmistajat voivat hoitaa tuottajavastuunsa eli järjestää akkujen ja paristojen jätehuollon itse ja rekisteröityä PIRELYn tuottajarekisteriin suoraan tai ne voivat siirtää tuottajavastuunveloitteensa hyväksytyille paristo- ja akkutuottajayhteisöille. Tuottajayhteisöjä ovat tällä hetkellä Akkukierrätys Pb Oy (lyijyakut), Recser Oy (kannettavat paristot ja akut), ERP Finland ry (kannettavat paristot ja akut) sekä Suomen Autokierrätys (ajovoima-akut).

Tuottajavastuun toteutumista valvoo tuottajavastuuviranomainen, Pirkanmaan ELY-keskus (PIRELY). PIRELY hyväksyy maahantuojat ja valmistajat sekä tuottajayhteisöt tuottajarekisteriin. Lisäksi se vastaa mm. tuottajavastuutilastojen kokoamisesta ja raportoinnista Euroopan komissiolle.

Kuluttajakäytössä oleville **teollisuusakkuille** kuten sähköpyörän akuille ei ole tällä hetkellä valtakunnallista tuottajayhteisön organisoimaa keräysverkkoa. Mahdollisen pienteollisuusakkujen tuottajayhteisön perustamista selvitetään kuitenkin Suomessa aktiivisesti. Toistaiseksi pienteollisuusakkujen keräyksestä ja jätehuollosta ovat vastuussa kyseisten akkujen maahantuojat, joiden on siis haettava tuottajarekisterin jäsenyyttä ja järjestettävä keräys- ja kierrätysjärjestelmä yksin.

Pienteollisuusakkuja ei voi palauttaa kannettavien akkujen palautuspisteisiin, sillä ne edellyttävät jo suuremman kokonsa puolesta miehitettyä ja akut tuntevaa vastaanottopistettä, jotta akkujen palauttaminen ja säilyttäminen olisi turvallista.

Kuvaan 11 on koottu tietoa siitä, Suomeen 2010-luvulla maahantuoduista akuista ja paristoista sekä niiden keräysmäärästä ja -asteesta.



Kuva 11 Akkumarkkinat Suomessa 2010-2017 Pirkanmaan ELY-keskuksen keräämien tietojen perusteella: markkinoille tuotetut akut ja keräysjärjestelmään palautetut akut sekä keräysaste.

Kuvasta huomataan, että kannettavien paristojen ja akkujen kierrätysaste on ollut suhteellisen tasaisesti viidenkymmenen prosentin luokkaa. Ajoneuvo- ja teollisuusparistojen ja -akkujen keräysaste on vaihdellut enemmän.

Lyijyakkua kerätään Suomessa noin 20 000 tonnia vuodessa. Keräysverkosto muodostuu sadoista keräyspisteistä sekä useista akut noutavista operaattoreista. Lyijyakkujen kierrätysoperaattorit esikäsittelevät akut ja toimittavat ne sitten yhteistyökumppaneiden kierrätysprosesseihin. Lyijystä saadaan talteen lähes 97 prosenttia ja se käytetään pääasiassa uusien akkujen valmistukseen. Muovikuoret kierrätetään muoviteollisuuden käyttöön.

INFO: MITEN KERÄYSASTE JA KIERRÄTYSSTEHOIKUUS LASKETAAN SUOMESSA?

Keräysasteella tarkoitetaan ”prosenttiosuutta, joka saadaan jakamalla tietyssä kalenterivuotena Suomessa erilliskerättyjen käytöstä poistettujen kannettavien paristojen ja akkujen paino niiden kannettavien paristojen ja akkujen keskimääräisellä painolla, jotka tuottajat joko myyvät suoraan käyttäjille tai toimittavat kolmansille osapuolille myytäväksi käyttäjille Suomessa kyseisenä kalenterivuotena ja sitä edeltävinä kahtena kalenterivuotena; vuosittaisiin keräys- ja myyntilukuihin on sisällytettävä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa olevat kannettavat paristot ja akut”.

[Valtioneuvoston asetus paristoista ja akuista 3.7.2014/520](#)

Kierrätystehokkuus on kierrätetyiksi katsottavien, kierrätysprosessista saatujen jakeiden massa kalenterivuonna jaettuna paristojen ja akkujen kierrätysprosessiin kalenterivuonna syötettyjen jakeiden määrällä.

[Komission asetus \(EU\) N:o 493/2012](#)

4.4.2 Keräykseen, kuljetukseen ja kierrätykseen liittyvät haasteet ja huomiot

Akun elinkaaren eri vaiheisiin liittyviä haasteita **tuottajavastuun** näkökulmasta on koottu Taulukkoon 11 ja **kierrätysteknologioiden** näkökulmasta Taulukkoon 12.

Vaiheeseen liittyviä liiketoiminta- ja pilotti-ideoita sekä tutkimuskohteita:

- uusien raaka-aineiden erottelu kierrätyksessä
- materiaalien tehokkaampi talteenotto käytetyistä akuista isompien ja pienempien yritysten yhteistyöllä
- harvinaisten maametallien kierrätysvälituotteet
- korkeamman jalostusarvon tuotteiden talteenotto kierrätysprosesseista
- turvalliset loppukäsittelyteknologiat
- uusien akkutyypin sisältämien materiaalien tutkiminen: mitä kierrätykseen on odotettavissa

Taulukko 11 Esiselvitysvaiheessa esiin tulleita akkuihin liittyviä toiminnallisia ja tiedollisia haasteita **tuottajavastuun** näkökulmasta.

Haasteet ja kehittämistarpeet: tuottajavastuunäkökulma	Raaka-aineet ja valmistus	Maahantuonti ja jälleenynti	Keräys- ja kierrätysjärjestelmän tarjoaminen ja ylläpito (tuottajavastuu)	Kierrätysteknologiat
<p>Tiedolliset</p> <p><< tarvitsee tietoa</p> <p>>> viestintätarpeet muille</p>	<p><< Tarkempaa tietoa sekä nykyisten (litiumioni-)akkujen koostumuksesta että tulevaisuuden akkutyypeistä: mihin tuottajavastuujärjestelmän pitäisi osata varautua tulevaisuudessa?</p>	<p><< Tieto uusilta maahantuojilta näiden maahantuomista sovelluksista, akkutyypeistä jne.</p> <p>>> Tiedottaminen maahantuojille tuottajavastuuvollisuuksista.</p>	<p>>> Viestiminen riittävän laajalle toimijajoukolle siitä, miten erilaisten akkutyypien tuottajavastuu on järjestetty Suomessa</p> <p>>> Vahvempi maahantuonnin, tuottajavastuun toteuttamisen ja kierrätysmahdollisuuksien sidonnaisuuksien esiintuonti.</p>	<p><< Ajantasainen tieto käytössä olevista kierrätysteknologioista</p>
<p>Liiketoiminnalliset / toimintaympäristöön liittyvät</p>	<p>Litiumioniakkukomponenteista ja -akuista valtaosa valmistetaan Kiinassa, Etelä-Koreassa ja Japanissa. Tuottajavastuujärjestelmän on otettava siihen tulevat akut materiaaleineen 'annettuna'.</p> <p>Lisähaasteita niin turvallisellet kuljetukselle, akkujen luotettavalle tunnistamiselle kuin sujuvalle lajittelulle tuo se, että vaaditut akkumerkinnot ovat hyvin yleisellä tasolla.</p>	<p>Akkujen maahantuojia on paljon, ml. kuluttajien oma maahantuonti etäkaupan kautta. Eri sovelluksissa käytetään (mm. materiaalisällöltään) erilaisia akkuja, ja näiden akkujen kierrätysarvo on erilainen. Tämä tuo haasteita tuottajavastuujärjestelmän kustannusten oikeudenmukaiseen jakamiseen. Ongelma on 'uusi' ja liittyy erityisesti erilaisiin litiumioniakkuihin.</p>	<p>Haasteita on alkanut tuoda litiumioniakkujen materiaalien kirjo ja erilaiset arvot. Se vaikuttaa kierrätyskustannusten oikeudenmukaiseen jakautumiseen tuottajayhteisön jäsenten kesken, sillä eri materiaaleilla on erilaiset 'talteenottoarvot' ja niiden kierrätysmahdollisuudet ovat erilaiset. Esimerkiksi litiumioniakkujen keskimääräinen kobolttipitoisuus on laskenut ja vähentää kierrätysliiketoiminnan kannattavuutta nykyisillä kierrätysteknologioilla ja materiaalien hinnoilla.</p>	<p>-</p>
<p>Yhteistyötoiveet</p>	<p>Tuottajavastuun näkökulmasta yhteistyötä akkujen ja</p>	<p>Yhteistyötä maahantuojien kanssa pitäisi lisätä.</p>	<p>Eurooppa-tasoisesta yhteistyöstä lisääminen tuottajavastuuasioissa.</p>	<p>-</p>

	akkukomponenttien valmistajien sekä akkututkimuksen kanssa tulisi lisätä.		Tiiviimpi yhteistyö suurten litiumioniakkujen tuottajien välillä.	
--	---	--	---	--

Taulukko 12 Esiselvitysvaiheessa esiin tulleita akkuihin liittyviä toiminnallisia ja tiedollisia haasteita kierrätysteknologioiden näkökulmasta.

Haasteet ja kehittämistarpeet: kierrätysteknologioiden näkökulma	Raaka-aineet ja valmistus	Maahantuonti ja jälleenvyynti	Keräys- ja kierrätysjärjestelmän tarjoaminen ja ylläpito (tuottajavastuu)	Kierrätysteknologiat
Tiedolliset << tarvitsee tietoa >> viestintätarpeet muille	<< Mitkä eri tyyppisistä (ja erityisistä uudenlaisista) akuista saatavat materiaalit ja materiaalikombinaatiot kiinnostavat teollisuutta (akku- ja muuta) >> miten akut kannattaa käsitellä kierrätysprosessissa ja mitä ottaa talteen << Missä muodossa materiaalit tulisi ottaa talteen huoltovarmuuden näkökulmasta: ' raaka-aineiden oltava saatavilla korkean teknologian tarvitsemassa muodossa'	<< Millaisia akkuja ja akkumateriaaleja uusissa maahantuotavissa sovelluksissa on?	<< Informointi ajoissa muuttuvista kierrätystavoitteista (lainsäädännöllinen näkökulma).	-
Liiketoiminnalliset / toimintaympäristöön liittyvät	Litiumioniakkujen vaihteleva koostumus on haaste käytännön kierrätysprosesseille. Kierrätysprosessit, jotka on optimoitu korkeakobolttisten akkujen kierrätykseen, eivät ole optimaalisia uusien akkutyypin kierrätykseen.	Suomeen tulee paljon erilaisia akkuja. Niistä ei saada 'ennakkotietoa', vaan uusien akkujen tyyppi ja koostumus selviävät siinä vaiheessa, kun akku tulee kierrätysprosessiin.	Akkujen ja paristojen kierrätyksen haasteena on kierrätettävän materiaalin heterogeenisuus. Eri akkutyyppejä ei voi tällä hetkellä tunnistaa automaattisesti, vaan materiaalia on lajiteltava manuaalisesti.	Vaikka tutkimus tuntee menetelmiä mm. harvinaisten maametallien tai litiumin talteenottoon eri muodoissaan, ei menetelmiä ole vielä kaupallisessa käytössä. Osittain epävarmuus tulevaisuuden kehityssuunnista on esteenä talteenottomenetelmien kaupalliselle käynnistykseen. Teknologioiden kaupalliseen käyttöönottoon tarvittaisiin uusia toimijoita ja toimenpiteitä.

Yhteistyö	Yhteistyötä materiaali- ja akkukehityksen kanssa tarvitaan riittävän aikaisessa vaiheessa: miten uudet kehitetyt/kehitteillä olevat materiaalit ja rakenteet ovat kiertettävissä.	-	Riittävän aikainen yhteistyö kierrätystavoitekeskusteluissa: mitä 'pakotteita'/kannustimia odotettavissa?	
------------------	---	---	---	--

4.5 Akkuihin liittyviä viranomaisia Suomessa

Liikenteen turvallisuusvirasto Traficom

Traficom neuvoo toimijoita akkujen kuljetusta koskevissa kysymyksissä.

Akut luokitellaan lainsäädännössä 'vaarallisiksi aineiksi', joiden kuljetuksesta on annettu omat säädöksensä kansallisella, eurooppalaisella ja kansainvälisellä tasolla (nk. VAK-lainsäädäntö)¹⁰⁶. Säädökset koskevat ammattimaista kuljetusta maa-, meri- ja ilmaitse ja niiden tarkoitus on edesauttaa aineiden kuljetusta ihmisille, ympäristölle ja omaisuudelle turvallisella tavalla. Kuljetusta koskevat säädökset eivät koske yksityishenkilöitä.

Vaarallisten aineiden kuljetusta koskevat tarkemmat säädökset perustuvat Traficomien luokitukseen. Lähettäjä vastaa luokituksesta, pakkaamisesta ja pakkauksen merkinnästä. Oikea luokitus on siten lähtökohta turvalliselle kuljetukselle. Luokitus perustuu YK:n vaarallisten aineiden luokitukseen.

Tulli

Tulli valvoo tavarakuljetuksia rajan yli. Tullin toiminta perustuu Tullilakiin, Lakiin vaarallisten aineiden kuljetuksesta, Lakiin kaupallisista tavarakuljetuksista tiellä sekä Jätelakiin.

Kemikaali- ja turvallisuusvirasto TUKES

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes edistää ja valvoo sähköturvallisuutta Suomessa. Akkujen ja paristojen turvallisuuden ja asianmukaisten merkintöjen valvonta kuuluu Tukesin toimialaan. Tukes valvoo myös esimerkiksi tuotteiden raskasmetallipitoisuuksia sekä sitä, millaisia tuotteita markkinoille lasketaan.

TUKESin valvomia akkuihin liittyviä toimialoja ovat myös malminetsintä ja kaivostoiminta, kemikaalit sekä kemikaalilaitokset.

Pirkanmaan ELY-keskus

Pirkanmaan ELY-keskus (PIRELY) valvoo akkujen ja paristojen tuottajavastuun toteutumista Suomessa eli sitä, että käytöstä poistetut akut vastaanotetaan, kuljetetaan ja kierrätetään voimassa olevan ympäristölainsäädännön mukaisesti. PIRELY myös raportoi Euroopan komissiolle Suomessa markkinoille toimitettujen ja kerättyjen akkujen ja paristojen määrän.

ELY-keskukset

ELY-keskukset ohjaavat ja valvovat ympäristövaikutusten arviointimenettelyjä (YVA).¹⁰⁷

Aluehallintovirastot

Aluehallintovirastot ovat valtionlupaviranomaisia, joilta haetaan vesi- ja ympäristöluvut ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttaville toiminnolle.¹⁰⁸

Suomen ympäristökeskus SYKE

Suomen ympäristökeskus (SYKE) valvoo jätteiden kansainvälisiin siirtoihin liittyviä asioita Suomessa. Jotta käytetyt akut voi kuljettaa jätestatuksella pois Suomesta, on haettava jätteensiirtolupa SYKeltä. SYKE mm. tarkistaa, että jätettä siirtävällä toimijalla on oikeus siirtää jonkun toisen omistama jäte ja että sillä toimijalla, joka ottaa jätteen vastaan, on ympäristöluva toiminnalleen.

¹⁰⁶ <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/vak>

¹⁰⁷ <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/ymparistovaikutusten-arviointi>

¹⁰⁸ <https://www.avi.fi/web/avi/ymparistoluvat>

5 Läheisesti akkuihin ja niiden käyttöön liittyviä hankkeita, verkostoja ja ajankohtaisia aloitteita

Tähän osioon on koottu esiselvitysvaiheessa keväällä 2018 tunnistettuja akkuihin ja niiden käyttöön liittyviä hankkeita, verkostoja ja aloitteita.

5.1 Akkuraaka-aineet ja akkujen valmistus

- [GigaVaasa](#): hanke pyrkii luomaan edellytykset akkutehtaan perustamiselle Vaasan alueelle
- [Keskipohjanmaan litiumklusteri](#): litiumioniakkuihin liittyvän tutkimus- ja teollisen osaamisen innovaatiokeskittymä
- GTK:lle on annettu keväällä 2018 tehtäväksi selvittää Suomen akkumineraalivarannot ja -potentiaali

5.2 Kiertotalous ja kierrätys

- [Akut kiertoon](#): isojen litiumakkujen keräyspilotti
- BatCircle: konsortion tavoitteena on vahvistaa yhteistyötä ja Suomen kilpailukykyä akkumetalleihin liittyvässä liiketoiminnassa ja tutkimuksessa.¹⁰⁹
- [Closeloop](#): Korkean jalostusarvon materiaalit suljetussa raaka-ainekierrossa
- Kiertotalousdemolaitos: Uudet metallien talteenottomenetelmät sähkö- ja elektroniikkaromusta
- [METYK](#): Metallialan ympäristö- ja kiertotalous (päättynyt)
- Minewee: Integroituihin teknologioihin perustuva elektroniikkajätteen kierrätyskonsepti
- Pirkanmaan ELY-keskuksen hanke tuottajavastuun tilastoinnin kehittämiseksi

5.3 Energian varastointi ja integrointi

- [Akkujen monitavoitteinen rooli energijärjestelmässä](#)
- [EL-TRAN](#): resurssitehokas energijärjestelmä
- [Finnish Solar Revolution](#): Hankkeen tarkoituksena on varmistaa, että suomalaisilla yrityksillä on käytettävissä tutkimuksen kärkiosaaminen aurinkokennovoiman keskeisistä tulevaisuuden teknologioista ja liiketoiminta-trendeistä

5.4 Akkujen käyttö

- [Akkukennojen ja akkujen palotutkimus](#)
- [Akkuteknologiat-hankkeessa](#) selvitettiin mm. pienteollisuusakkujen kierrätysjärjestelmän rakentamista sekä litiumioniakkujen turvallista käyttöä ja ohjeistusta. (päättynyt)
- [ECV](#) – Electric Commercial Vehicles (päättynyt)
- [Litiumakkuseminaari](#)

5.5 Muita hankkeita ja ohjelmia

- [Batteries from Finland](#): Business Finland on käynnistänyt huhtikuussa 2018 akkutoimialalle kaksi-vuotisen Batteries from Finland -aktivointikokonaisuuden, jonka tavoitteena on nostaa Suomi eurooppalaiseen ja globaaliin akkuverkostoon. Aktivointikokonaisuus on osa Business Finlandin [Älykäs energia](#) -ohjelmaa.
- [EIT Climate](#) on euroopplainen tieto- ja innovaatiokeskus, joka pyrkii kiihdyttämään siirtymistä hiili-neutraaliin yhteiskuntaan.

¹⁰⁹ <https://www.mineralsgroup.fi/fi/uutiset/finland-based-circular-ecosystem-of-battery-metals-batcircle.html>

- [EIT Raw Materials](#) on eurooppalainen verkosto, jonka tavoitteena on tehdä raaka-aineista Euroopan vahvuus.
- [GASELLI](#): Sähkö- ja kaasuautojen hankintojen kustannustehokkaat edistämistoimet
- [Green Energy Showroom](#) (GES): Etelä-Karjalassa yrityslähtöisesti toimiva energia- ja ympäristöalan verkosto, joka luo jäsenilleen sekä alueelle kasvua ja uusia liiketoimintamahdollisuuksia.
- [InnoEnergy](#) on ollut rakentamassa European Battery Alliance -ohjelmaa.
- [Kokkola Industrial Park](#) KIP: mm. järjestää Kokkola Material Weekin.
- [Smart Energy Transition](#): Millä toimialoilla ja miten Suomi voi menestyä globaalissa energiamurroksessa
- [Älyverkkotyöryhmä](#), TEM

Liite 1

RAAKA-AINEET

Yrityksiä

Beowulf Mining	Beowulf Mining tutkii grafiittiesiintymiä Itä-Suomessa ja Lapissa. ¹¹⁰
Boliden	Bolidenin Kevitsan kaivoksessa tuotetaan mm. nikkeliä. Vuonna 2016 avatun kaivoksen vuosituotantomäärä oli vuonna 2018 noin 14 000 tonnia. Boliden Harjavallan nikkelisulattolalla tuotetaan mm. nikkelisulfaattia. Nikkelin tuotanto kokonaisuudessaan vuonna 2018 oli 31 000 tonnia. Nikkelisulfaattia tuotetaan noin 1 000-2 000 tonnia vuodessa. ¹¹¹
Fennoscandian Resources	Fennoscandian Resources grafiittiesiintymiä Suomessa mm. Itä-Suomessa Heinäveden alueella. Yritys on Beowulf Miningin tytäryhtiö. ¹¹²
FinnCobalt	FinnCobaltin tavoitteena on elvyttää Outokummussa sijaitseva Hautalammen suljettu kuparikaivos kobolttin tuotantoa varten. Yritys selvittää myös mahdollisuutta koboltti- ja nikkelikemikaalien tuottamiseen. ¹¹³
Freeport Cobalt (→ Umicore)	Freeport Cobalt tuottaa erilaisia kobolttijalosteita, mm. kobolttihydroksidia akkuteollisuudelle. Yhtiön osuus maailman kobolttimarkkinoista on noin 15 prosenttia. 5/2019 ilmoitettiin, että Umicore ostaa Freeport Cobaltin akkumateriaaleihin liittyvät kobolttinjalostustoiminnot. ¹¹⁴
GTK	Geologian tutkimuskeskus, GTK tuntee Suomen malmipotentialin ja siten myös akkuminaaliresurssit. Kaikki Suomeen syntyvä kaivosteollisuus kulkee GTK:n kautta. Kaivosrekisterin karttapalvelussa voi tarkastella kaivosteollisuuden varauksia, valtauksia, malminetsintälupia ja olemassa olevaa kaivostoimintaa päällekkäisinä tasoina. ¹¹⁵
Keliber	Keliber on perustamassa litiumkaivosta ja litiumhydroksiditehdasta Kausinen-Kokkola alueelle. Kaivostoiminnan ja tehtaan tuotannon arvioidaan alkavan vuonna 2020. Keliberin koko toiminnaikainen (20 v.) suunniteltu litiumhydroksidin tuotanto 242 kilotonnia (2/3 omasta ja 1/3 muualta ostetusta mineraalista). ¹¹⁶
Terrafame	Terrafame tuottaa nikkeliä, kobolttia, sinkkiä ja kuparia Sotkamossa sijaitsevalla kaivoksellaan ja metallitehtaallaan. Terrafamen on tarkoitus aloittaa nikkeli- ja kobolttisulfaatin tuotanto vuonna 2020. Arvio vuosituotantomäärästä tällä hetkellä on 170 000 tonnia nikkelisulfaatille ja 7 400 tonnia kobolttisulfaatille. ¹¹⁷

¹¹⁰ <https://beowulfmining.com/projects/fennoscandian-finland-graphite/>

¹¹¹ <https://vp217.alertir.com/afw/files/press/boliden/201903076646-1.pdf>; <https://www.boliden.com/operations/products/nickel/>

¹¹² <https://yle.fi/uutiset/3-10755959>; https://fennoscandian.com/projects_overview.htm

¹¹³ <https://www.finncobalt.com/>

¹¹⁴ <https://www.freeportcobalt.com/products/battery.html>; <https://www.hs.fi/talous/art-2000005493173.html>; <https://www.ft.com/content/c0d0200e-7da5-11e9-81d2-f785092ab560>

¹¹⁵ <http://www.gtk.fi/asiantuntijapalvelut/mineraalivarat/malminetsinta/>; <http://gtkdata.gtk.fi/kaivosrekisteri/>

¹¹⁶ www.keliber.fi

¹¹⁷ <https://www.terrafame.fi/>

Taustavaikuttajia

Kaivosteollisuus ry	Kaivosteollisuus ry on kaivos- ja kaivannaisteollisuudessa toimivien yritysten edunvalvonta- ja yhteistyöjärjestö. ¹¹⁸
Suomen Malmijalostus / Finnish Minerals Group	Suomen Malmijalostus vastaa valtion kaivos- ja akkutoimialan omistuksista ja kehittämisestä sekä edistää suomalaisen akkuklusterin kehittämistä. ¹¹⁹

VALMISTUS

Yrityksiä

Finnish Batteries	Finnish Batteries aikoo rakentaa Janakkalaan energianvarastoinnissa käytettäviä litiumrautafosfaattiakkuja tuottavan tehtaan. ¹²⁰
Geyser Batteries	Geyser Batteries on kehittänyt akkuteknologiaa erityisesti erilaisiin hybridiratkaisuihin. ¹²¹
Valmet Automotive	Valmet Automotive valmistaa akkuja Avant E-sarjan kuormaajiin. Yritys on aloittamassa sähköauton ajovoima-akkujen sarjavalmistuksen Salossa vuoden 2019 aikana. ¹²² Turkuun on perustettu marraskuussa 2017 tuotekehitys- ja suunnittelutoimisto mm. sähköajoneuvoratkaisuille. ¹²³

Tutkimusta

Aalto-yliopisto	Aalto-yliopistossa, Kemian tekniikan korkeakoulussa tutkitaan mm. uusia akkuraaka-aineita ja valmistusmenetelmiä.
Centria	Centrian akkulaboratoriossa on litiumioniakkujen valmistuslinja. ¹²⁴
Itä-Suomen yliopisto	Itä-Suomen yliopiston kemian laitoksella tutkitaan mm. litiumioniakkujen elektrodimateriaalien valmistus kaasufaasin synteessiprosesseissa; erityis alueena korkeatehoiset akut (LTO-anodi ja LFP-katodi) sekä sähköautojen akut (Si-C anodi ja NMC-katodi).
Oulun yliopisto	Oulun yliopistossa tutkitaan mm. litiumpohjaisten akkumateriaalien valmistusta ja karakterisointia. ¹²⁵
Chydenius-instituutti	Yksi Chydenius-instituutin tekemän tutkimuksen painopisteitä on energiaa varastoivat uudet kemikaalit litiumioniakuissa. ¹²⁶

¹¹⁸ <https://www.kaivosteollisuus.fi/>

¹¹⁹ <https://www.mineralsgroup.fi/>

¹²⁰ <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/hameen-sanomat-valtava-akkutehdas-suunnitteilla-janakkalaan/b62329b5-ddfa-4736-a6ea-ce6769e153a6>

¹²¹ <http://geyserbatteries.com/batteries>

¹²² <https://www.valmet-automotive.com/fi/media/uutiset/valmet-automotive-suunnittelee-akkujen-suursarjatuotantoa-saloon/>

¹²³ <http://www.valmet-automotive.com/automotive/bulletin.nsf/pfbd/47D3F49E6A3477BCC22581D3002E9D2E>

¹²⁴ <https://tki.centria.fi/kehittamisymparistot/akkulaboratorio>

¹²⁵ <https://www oulu.fi/kemia/node/32665>

¹²⁶ <https://www.chydenius.fi/fi/soveltava-kemia/tutkimus/tutkimus-1;>

MAAHANTUONTI

Yrityksiä

Akkujen ja paristojen maahantuojia on tuottajavastuuviranomaisen PIRELYn mukaan noin 770. Näitä ovat kannettavien akkujen ja paristojen maahantuojat, lyijypohjaisten käynnistysakkujen maahantuojat sekä teollisuusakkujen maahantuojat.

Taustavaikuttajia

Päivittäistavara-kauppa ry	Päivittäistavarakaupan edunvalvojalla on sopimus tuottajayhteisö Recserin kanssa akkujen ja paristojen vastaanoton pelisäännöistä. Kaupat ovat merkittävä osa kannettavien akkujen ja paristojen tuottajavastuujärjestelmän toteuttamista, sillä ne muodostavat Suomessa noin 14 000 palautuspisteen verkoston.
Kaupan liitto	Kaupan liitto on suomalaisen kaupan edistäjä. Siihen kuuluu myös Teknisen kaupan liitto, jonka jäsenyritykset mm. tuovat maahan kuluttajatuotteita, kuten moottoripyöriä, maastoajoneuvoja, puutarhan ja metsänhoidon pienkoneita sekä akkuja ja paristoja, sekä Sähköteknisen kaupan liitto.

KÄYTTÖ JA KÄYTTÖPALVELUT

Yrityksiä (esimerkkejä)

Avant	Avant valmistaa sähkökäyttöisiä kuormaajia.
Kalmar	Kalmar valmistaa mm. sähköisiä trukkeja ja konttilukkeja.
Sandvik	Sandvik on uranuurtaja sähkökäyttöisten kaivoskoneiden valmistuksessa. Vuonna 2016 lanseerattu täysin sähkökäyttöinen kaivosvaunu hyödyntää Molten salt battery -teknologiaa. Vaunun akku latautuu porattaessa.
Linkker	Linkker valmistaa sähköbussuja Suomessa.
Wärtsilä	Wärtsilä on teollisen mittakaavan energian varastoinnin ja älykkäiden energiajärjestelmien asiantuntija.
Turku Meyer	Tulevaisuudessa energiatuotannon tavat monimutkaistuvat (laivalla voi olla käytössä dieselvoimalaitos, polttokennoja, hukkalämpöä hyödyntävä höyrygeneraattori sekä aurinko-, tuuli- ja aaltovoimaa). Akuilla on merkittävä rooli haettaessa kokonaisenergiajärjestelmään erilaisia tehostuskeinoja.
Helen	Helenin Suvilahden energiajärjestelmä on Pohjoismaiden ensimmäinen aurinkovoimalan, sähkövaraston ja sähköautojen latausaseman yhdistävä energiajärjestelmä (ml. V2G). 600 kWh energiavarasto vastaa kahdeksaa täyteen ladattua Teslaa.
Fortum	Fortumin liiketoimintaan kuuluvat mm. sähköautojen latausverkosto Pohjoismaissa sekä erilaiset energianvarastointiratkaisut, joilla tasataan sähköverkon taajuusvaihteluita sekä ohjataan energian kulutusta.
Akkurate	Akkurate on litiumioniakkujen konsultti- ja testausfirma.
Celltech Oy	Celltech Oy on akkuratkaisujen suunnittelija ja toteuttaja.

Tutkimusta

Turun ammattikorkeakoulu	Turun ammattikorkeakoulussa tehdään mm. autojen voimalinjoihin liittyvää tutkimusta (akku + akkujenhallintajärjestelmä + auto). Akkujen kestävyys ja energiatehokas käyttö riippuvat akun oikeanlaisesta toimialueesta ja lämmönhallinnasta. Korkeakoulu tekee yhteistyötä mm. Valmet Automotiven kanssa.
Metropolia	Metropoliassa on mm. tutkittu sähköautojen induktiivista latausta sekä tehty akkujen palotutkimusta.
Tampereen yliopisto	Tampereen yliopistossa akkuihin liittyvää tutkimusta tehdään sähköenergiatekniikan ja tehoelektroniikan laitoksilla. Energia- ja ekotehokkuustutkimusta tehdään useassa tutkimusryhmässä ja -laboratoriossa.
Lappeenrannan teknillinen yliopisto	Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa tehdään mm. sähköautoihin ja älykkäisiin energijärjestelmiin liittyvää tutkimusta.
Centria	Centriassa tutkimuskohteena ovat mm. akkujen valmistus ja testaus.
VAMK	VAMK tarjoaa 25 op laajuista akkuteknologia-koulutusohjelmaa.
VTT	VTT:llä tehdään sovelletun energianvarastoinnin tutkimusta ja tuotekehitystä. VTT:llä on myös monipuoliset akkujen testaustilat.

Taustavaikuttaja

Teknolohiateollisuus	Teknolohiateollisuus on elinkeino- ja työmarkkinapoliittinen vaikuttajaorganisaatio, jonka alaisuudessa toimii mm. Sähköinen liikenne -toimialaryhmä. Teknolohiateollisuuden jäsenrytykset edustavat elektronikka- ja sähköteollisuutta, kone- ja metallituoteteollisuutta, metallien jalostusta, suunnittelua ja konsultointia sekä tietotekniikkaa
Motiva	Motiva edistää mm. materiaali- ja energiatehokasta yhteiskuntaa ja uusiutuvan energian käyttöä ja tarjoaa näihin liittyviä palveluita.
TEM	Teollisuus- ja elinkeinoministeriö on mm. Suomen cleantech-hankkeiden tukija.
LVM	Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM) vastaa Suomen liikennejärjestelmistä, liikenneverkoista, tavara- ja henkilöliikenteestä, liikenneturvallisuudesta ja liikenteen ilmasto- ja ympäristöasioista.
Isännöintiliitto	Isännöintiliitto tarjoaa yhteyden taloyhtiöihin ja siten tiedotuskanavan mm. akkujen turvalliseen käyttöön ja latauspisteiden rakentamiseen liittyvissä asioissa.
Kiinteistöliitto	Kiinteistöliitto tarjoaa taloyhtiöille tietoa sähköautojen latauspisteiden rakentamisesta.
Lähienergialiitto	Lähienergialiiton tavoitteena on edistää uusiutuvan ja älykkään energian käyttöä.
SESKO	SESKO ry on Suomen sähköteknisen alan standardointijärjestö. Akkujen standardointia käsitellään Akut ja energiavarastot -komiteassa ja kierrätykseen liittyviä asioita Sähkö- ja elektronikkalaitteiden ympäristönäkökohdat -komiteassa.
STEK	STEK tuottaa ja jakaa tietoa sähkön turvallisesta ja luotettavasta käytöstä, energiatehokkaista sähköistysratkaisuista sekä älykkästä sähkön käytöstä. Sen jäseniä ovat valtakunnalliset yhdistykset, jotka edustavat sähkö- ja elektronikka-alalla toimivia liikeyrityksiä ja ammattiryhmiä.

KERÄYSJÄRJESTELMÄT

Yrityksiä

Akkukierrätys Pb	Akkukierrätys Pb Oy on lyijyakkujen kierrätykseen erikoistunut yritys, joka huolehtii lyijyakkuja maahantuovien yritysten tuottajavastuunvelvoitteista.
ERP Finland	ERP Finland on kannettavien akkujen ja paristojen tuottajayhteisö. Käytännössä kierrätysverkosto on yhteinen Recser Oy:n kanssa.
Recser Oy	Recser Oy on kannettavien akkujen ja paristojen tuottajayhteisö.
Suomen Autokierrätys	Suomen Autokierrätys on ajovoima-akkujen tuottajayhteisö.
Elker, SERTY, Tramel	Akkuja ja paristoja palautuu keräykseen myös sähkö- ja elektronikkalaitteiden sisällä.

Taustavaikuttaja

Suomen autopurkamoliitto	Suomen autopurkamoliitto on autopurkamualan taustavaikuttaja.
Ympäristöministeriö	Ympäristöministeriö vastaa mm. yhdyskuntia, rakennettua ympäristöä, asumista, luonnon monimuotoisuutta, luonnonvarojen kestävää käyttöä ja ympäristönsuojelua koskevien asioiden valmistelusta valtioneuvostolle ja eduskunnalle.

KIERRÄTYS

Yrityksiä

AkkuSer	Nivalassa toimiva Akkuser Oy käsittelee kierrätysprosessissaan litiumioniakkuja, alkaliparistoja sekä nikkelimetallihydridiakkuja Dry Technology -menetelmällä. Akut murskataan ja jakeet erotellaan mekaanisin menetelmin. Litiumioniakkujen kierrätys on keskittynyt erityisesti korkeakobolttisten akkujen käsittelyyn, mutta vuoden 2019 aikana otetaan käyttöön myös uusi linja ¹²⁷ vähän tai ei ollenkaan kobolttia sisältävien litiumioniakkujen käsittelyyn.
Crisolteq	Crisolteqin kehittämällä hydrometallurgisella prosessilla litiumioniakuista voidaan ottaa talteen koboltti, nikkeli ja mangaani. ¹²⁸
Fortum	Fortum on teollisuusakkujen kierrätysoperaattori ja yksi Suomen Autokierrätyksen ajovoima-akkujen kierrätyksessä käyttämistä palveluntarjoajista.
Kuusakoski	Kuusakoski on lyijyakkujen kierrätysoperaattori.
Outotec	Outotec on valittu syksyllä 2018 koordinoimaan yhdessä Aalto-yliopiston kanssa Euroopan akkualaan liittyvää kierrätyksen tutkimusta.
Stena Recycling	Stena Recycling on mm. sähkö- ja elektroniikkaromun ja autojen kierrätysoperaattori, jolla on myös liiketoimintaa litiumioniakkujen uudelleenkäytöstä. ¹²⁹ Se on myös yksi Suomen Autokierrätyksen ajovoima-akkujen kierrätyksessä käyttämistä palveluntarjoajista.
Suomen Akkukeräys	Suomen Akkukeräys on lyijyakkujen kierrätysoperaattori.
TraceGrow	TraceGrow on kehittänyt menetelmän jalostaa alkaliparistojen sisältämiä hivenaineita, kuten mangaania ja sinkkiä, maatalouden ravinteiksi. Jalostuksen lähtöaineena on musta massa, jonka Akkuser on erottanut alkaliparistojen kierrätysprosessissa.
URecycle	URecycle toiminta koostuu mm. kannettavien paristojen ja akkujen murskauksesta, teollisuusakkujen kierrätyksestä sekä akkujen pakkaus-, kuljetus- ja seurantajärjestelmästä. Toimintaa on tällä hetkellä Suomessa, Ruotsissa sekä Iso-Britanniassa. Se on myös yksi Suomen Autokierrätyksen ajovoima-akkujen kierrätyksessä käyttämistä palveluntarjoajista.
WeeeFINer	WeeeFiner tarjoaa ratkaisuja arvokkaiden ja vaarallisten aineiden talteenottoon erilaisista jättejakeista.

Tutkimusta

Aalto-yliopisto	Aalto-yliopiston hydrometallurgian ja korroosion tutkimusryhmässä tutkitaan mm. metallien talteenottoa litiumioni- ja nikkelimetallihydriakuista.
JyU	Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella tutkitaan mm. kriittisten metallien talteenottoa kierrätysmateriaaleista, harvinaisia maametalleja sekä mixed metal -oksidin valmistusta kierrätettyjen akkujen materiaaleista.

¹²⁷ <http://www.akkuser.fi/kasittelyynkuvaus/matalakobolttinen-li-ion-akku/>

¹²⁸ <https://turkubusinessregion.com/2019/03/27/crisolteq-ja-fortum-yhteistyohon-sahkoautojen-akkujen-kierratyksessa/>

¹²⁹ <https://www.batteryloop.com/>

Taustavaikuttajia

Uusioraaka-aineliitto	Uusioraaka-aineliiton jäsenistöön kuuluu tuottajayhteisöjä ja kierrätys-operaattoreita.
Romukauppioiden liitto	Romukauppioiden liitto on romu- ja jäteraaka-ainekaupan taustavaikuttaja.
SYKE	Suomen ympäristökeskus (SYKE) mm. valvoo jätteiden kansainvälisiin siirtoihin liittyviä asioita Suomessa.

YKSITYISIÄ TUTKIMUSLAITOKSIA JA KONSULTTIFIRMOJA

VTT	VTT:n akkuosaamisaluetta ovat mm. akkujen suorituskyvyn ja käyttöiän mallinnus sekä varastointitekniikoiden tutkimus. VTT:llä on akkuteknologian testaustilat.
Gaia	Gaia on tehnyt selvityksiä useille toimeksiantajille akkujen elinkaaren eri vaiheista.
Not Innovated Here	Not Innovated Here on tehnyt Kriittiset metallit ja huoltovarmuus -selvityksen Huoltovarmuuskeskukselle. Se on myös ollut mukana määrittelemässä sähkö- ja hybridiautojen ajovoima-akkujen kierrätysjärjestelmää.

AKKUIHIN LIITTYVIÄ VERKOSTOJA

Tuottajayhteisöjen neuvottelukunta TYNK	Tuottajayhteisöjen neuvottelukunta TYNK edustaa jäsenikseen liittyneitä Suomessa toimivia tuottajayhteisöjä.
Teollisuusakkujen neuvottelukunta TANK	TANK edustaa teollisuusakkujen maahantuojia.
Litiumakkutyöryhmä	Monialainen litiumakkutyöryhmä tarkastelee erityisesti akkujen kuljetukseen liittyviä kysymyksiä.
Sähköautot – Nyt! -yhteisö	https://www.facebook.com/groups/sahkoautot.nyt/
Uusi Energiapolitiikka -yhteisö	https://www.facebook.com/groups/740342559331216/
Ryhmiä LinkedInissä	Global Battery Professionals https://www.linkedin.com/groups/3144264/ Battery and Energy Storage Industry News https://www.linkedin.com/groups/4535494/ Lithium Ion Battery https://www.linkedin.com/groups/3912263/ Advanced Battery Recycling https://www.linkedin.com/groups/1893862/ Lithium Ion Battery Recycling https://www.linkedin.com/groups/8481232/

Liite 2

Yhteenvedo akkuraaka-aineiden tuotantomääristä

Akkuihin käytettyjen raaka-aineiden tuotantomääriä, akkuihin käytetty osuus ja muut käyttökohteet. **Tuotantomäärien ja käyttökohteiden lähteenä on käytetty USGS 2019 tietoja, ellei muuta viitettä ole annettu.**

Raaka-aine	Tuotanto maailmassa 2017	Akkuihin käytetyn määrän osuus tuotannosta	Muita käyttökohteita	Kysyntään vaikuttavia tekijöitä tulevaisuudessa
Alumiini 2700 kg/m ³	59,4 Mt josta Kiinassa 54%	Akkuihin käytetty osuus sisältyy todennäköisesti folioihin	Kuljetus ja liikenne Rakentaminen Sähkötekniikka Koneet ja laitteet Foliot ja foliopakkaukset Pakkaaminen Muut ¹³⁰	Autoteollisuus, lentokoneteollisuus, rakennusteollisuus, e-liikkuminen, materiaalia lisäävä valmistus (additive manufacturing) ¹³¹
Grafiitti 2 200 kg/m ³	0,897 Mt josta Kiinassa 80%	~10% Pinnoitettua pallomaista grafiittia käytettiin akkuihin vuonna 2017 60 000 tonnia; lisäksi synteettistä grafiittia käytettiin 45 000 tonnia ¹³² 2-3 yksiköstä luonnongrafiittia saadaan tuotettua 1 yksikkö pinnoitettua, pallomaista grafiittia. ¹³³	Korkean lämpötilan voiteluaineet Sähkömoottorien harjat Kitkapintamateriaalit Polttokennot	Litiumioniakut ; pidemmällä aikavälillä korvaavat materiaalit, solid state akut ja uudet valmistusmenetelmät voivat hidastaa kysynnän kasvua ¹³⁴

¹³⁰ <https://www.statista.com/statistics/280983/share-of-aluminum-consumption-by-sector/>

¹³¹ <https://www.aluminium-messe.com/en/ALUMINIUM-2020/Demand-for-aluminium-is-growing-worldwide/758/>

¹³² <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/graphite-market>

¹³³ <https://graphitedaily.com/wp-content/uploads/2018/06/Ceylon-Primer-v8.pdf>

¹³⁴ <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/graphite-investing/graphite-outlook/>

Raaka-aine	Tuotanto maailmassa 2017	Akkuihin käytetyn määrän osuus tuotannosta	Muita käyttökohteita	Kysyntään vaikuttavia tekijöitä tulevaisuudessa
Harvinaiset maametallit (REE), merkittävimmät v. 2007 tiedon perusteella Ce 31% ja La 24%. La, Ce, Nd ja Y muodostivat 85% harvinaisten maametallien tuotannosta. ¹³⁵ Roskill: käyttö v. 2017 0.085 Mt ¹³⁶ Ce, La, Pr, Nd: 6 160-7000 kg/m³	0,132 Mt (kaikki) josta La, Ce, Pr, Nd akuissa. Kiinassa tuotettiin 80% ja Australiassa 14% tuotannosta. Arvio vuoden 2018 tuotannosta 0,170 Mt >> +20% Arvio Kiinan tuotannon osuudesta v. 2018 71%.	Ce 6%/Ce La 16%/La Pr 4%/Pr Nd < 1%/Nd Huom! vuoden 2007 tieto käytössä olevien harvinaisten maametallien osuuksista sovelusaloittain. Vuonna 2007 käytössä oli 0,448 Mt REE, uustuotanto 0,107 Mt. ¹³⁷	Ce: katalysaattorit, metallurgia, lasiteollisuus, kiillotuspulverit La: katalysaattorit, metallurgia, lasiteollisuus Pr: tietokoneet, audiojärjestelmät, tuulivoimalan turbiinit (kestomagneetit), autot Nd: tietokoneet, audiojärjestelmät, tuulivoimalan turbiinit (kestomagneetit), autot	Ne, Pr, Dy osuus kasvaa kestomagneettien kysynnän vuoksi Ce, La kysyntään vaikuttaa huomattavasti globaali polttomoottorien markkina: vähäpäästöisempien polttomoottorien myötä kysyntä kasvaa; polttomoottoreista luopumisen myötä kysyntä vähenee ¹³⁸
Litium 534 kg/m³	0,069 Mt josta Australiassa 58% sekä Chilessä ja Argentiinassa yht. 29% Arvio vuoden 2018 tuotannosta 0,085 Mt >> +23%	56%	Keraamien ja lasin valmistus Voiteluaineet Valu- ja polymeeriteollisuuden juoksutteet Muut	Kysynnän on arvioitu moninkertaistuvan akkujen kysynnän kasvun vuoksi. ^{139 140}
Koboltti 8900 kg/m³	0,120 Mt josta Kongossa n. 60%. Arvio vuoden 2018 tuotannosta 0,140 Mt. >> +17%	n. 50%	Metalliseokset (esim. lentokoneiden kaasuturbiinimoottoreissa) Kovat materiaalit Keraamit, pigmentit	Kysynnän on arvioitu moninkertaistuvan akkujen kysynnän kasvun vuoksi. ¹⁴³

¹³⁵ Du & Graedel 2011. Global In-Use Stocks of the Rare Earth Elements: A First Estimate.

¹³⁶ <https://roskill.com/market-report/rare-earths/>

¹³⁷ Du & Graedel 2011. Global In-Use Stocks of the Rare Earth Elements: A First Estimate.

¹³⁸ <https://roskill.com/market-report/rare-earths/>

¹³⁹ <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/lithium-investing/lithium-market-update/>

¹⁴⁰ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-02-21/lithium-market-cheers-as-top-supplier-sees-demand-driving-higher>

¹⁴³ <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/cobalt-investing/cobalt-demand-rise-despite-battery-changes/>

Raaka-aine	Tuotanto maailmassa 2017	Akkuihin käytetyn määrän osuus tuotannosta	Muita käyttökohteita	Kysyntään vaikuttavia tekijöitä tulevaisuudessa
	Noin puolet Kongon kobol- tin tuotannosta oli kiina- laisomisteista v. 2018 lo- pussa. ¹⁴¹		Muut kemianteollisuuden käyttökohteet ¹⁴²	
Kupari 8960 kg/m³	20,1 Mt		Rakennusteollisuus 30% Kuluttajatuotteet ja muut sovellukset 28% Sähköntuotanto 19% Liikenne 12% Teollisuuden laitteet ja koneet 11% ¹⁴⁴	Kysynnän on arvioitu kasva- van erityisesti yhteiskunnan infrastruktuurin ja rakennus- teollisuuden kysynnän vuoksi. ¹⁴⁵
Lyijy 11 340 kg/m³	4,6 Mt josta Kiinassa noin 47%	Pääkäyttökohte, n. 80%	Rakennusteollisuudessa käytetyt pursot- teet ja ohutlevyt ¹⁴⁶	Kysynnän on arvioitu edel- leen kasvavan tulevaisuu- dessa litiumioniakkujen yleis- tyemisestä huolimatta, tosin maltillisemmin. ¹⁴⁷
Mangaani 7 210 kg/m³	17,3 Mt josta Etelä-Afrikassa noin 31%		90% mangaanista käytetään teräksen val- mistuksessa 10% kupari- ja alumiiniseoksissa, akuissa, hivenaineena, vedenpuhdistuskemikaa- leissa, eläinruuassa, muissa kemikaaleissa	Terästeollisuuden kehitys; jossakin määrin myös litiumioniakun katodiaktiivi- materiaalin koostumus

¹⁴¹ <https://www.bloomberg.com/graphics/2018-china-cobalt/>

¹⁴² <http://www.ecobalt.com/cobalt/cobalt-facts>; <https://www.globalenergymetals.com/cobalt/cobalt-demand/>

¹⁴⁴ <https://www.aurubis.com/en/about-aurubis/our-business%5B2%5D/copper-market>

¹⁴⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918300041>; <http://www.mining.com/nickel-demand-growing-thanks-ev-boom-western-areas/>

¹⁴⁶ <https://investingnews.com/daily/resource-investing/base-metals-investing/lead-investing/lead-demand/>

¹⁴⁷ <http://www.batteriesinternational.com/2019/01/04/analysts-predict-steady-growth-in-lead-demand-for-2019/>

Raaka-aine	Tuotanto maailmassa 2017	Akkuihin käytetyn määrän osuus tuotannosta	Muita käyttökohteita	Kysyntään vaikuttavia tekijöitä tulevaisuudessa
Nikkeli 8 908 kg/m ³	2,16 Mt Arvio vuoden 2018 tuotannosta 2,3 Mt >> +10%	4 %	Ruostumaton teräs > 70% Metalliseokset 16% Akut 4% Muu 10 % ¹⁴⁸	Terästeollisuuden kehitys ja muiden metalliseosten tarve (esim. lentokoneiteollisuudessa); myös litiumioniakun katodiaktiivimateriaalin koostumus ¹⁴⁹
Sinkki 7 140 kg/m ³	12,5 Mt josta Kiinassa noin 35%	Paristoissa sinkkiä sekä alkuainemuodossa elektrodina että kloridina (elektrolyytissä).	Galvanointi 50% Sinkkiseokset 17% Messinki ja pronssi 17% Sinkkipuolijalosteet 6% Kemikaalit 6%, Muut 4% ¹⁵⁰	Viime vuosina sinkin kysyntä on ollut suurempaa kuin tarjontaa kaivosten sulkemisen ja hinnan kehityksestä johtuvien tuotantokatkosten vuoksi. ¹⁵¹
Fosfori 1 823 kg/m ³	255 Mt (fosforioksidi: fosforin osuus n. 44%) josta Kiinassa noin 54%		Rehut ja lannoitteet 90% Muut (mm. tulentekovälineet, teräs) 10%	Kysyntä kasvaa ravinnontuotannon kasvun myötä.

Akkuraaka-aineista on saatavilla tietoa mm. Geologian tutkimuskeskuksen GTK:n (<http://www.gtk.fi/>) sekä Yhdysvaltain geologian tutkimuskeskuksen (<https://www.usgs.gov/>) sivuilta. USGS päivittää tiedot mineraalien tuotantomääristä vuosittain.

Metallien markkinoita ja hintoja koskevia tietoja ja uutisia tuottavat mm. Fastmarkets (<https://www.fastmarkets.com/>), Benchmark Mineral Intelligence (<https://www.benchmarkminerals.com/>), Investing News (<https://investingnews.com/>) sekä Roskill (<https://roskill.com/>).

¹⁴⁸ <http://www.insg.org/prodnickel.aspx>; <http://www.mining.com/nickel-demand-growing-thanks-ev-boom-western-areas/>

¹⁴⁹ <https://investingnews.com/daily/resource-investing/base-metals-investing/nickel-investing/nickel-outlook-price-gains/>

¹⁵⁰ <https://www.statista.com/statistics/240626/share-of-zinc-consumption-by-category/>

¹⁵¹ <https://www.mining-technology.com/comment/zinc-outlook-2019/>