



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Xiao Feng Ma

Akkukemikaaliteknologioiden kartoitus ja palvelutarjonta (pCAM ja CAM)

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

11.5.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Xiao Feng Ma Akkukemikaaliteknologioiden kartoitus ja palvelutarjonta (pCAM ja CAM) 32 sivua + 1 liitettä 11.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	kemiantekniikka
Ohjaajat	lehtori Timo Laitinen projektipäällikkö Erno Voutilainen
<p>Opinnäytetyön päätavoitteena oli akkukemikaaliteknologioiden kartoitus eli löytää pCAM- ja CAM-akkukemikaalien toimittajat, tuottajat sekä prosessiteknologian tarjoajat globaalisti. Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Sweco Industry Oy:n kanssa.</p> <p>Ennen itse kartoitusta työssä käydään läpi litiumioniakkujen toimintaperiaate, erilaiset litiumioniakut ja niiden käyttötarkoitukset, kuten myös pCAM- ja CAM-tuotantoprosessit.</p> <p>Kartoitusosuuden alussa käydään ensin läpi pCAM-raaka-ainetarjonta eli metallisulfaatit mistä maanosista ja maista niitä löytyy ja kuinka se kenties vaikuttaa akkuteknologian kehitykseen kyseisillä alueilla. Tämän jälkeen alkaa pCAM- ja CAM-materiaalien kartoitus ja palveluntarjontaosio, jossa kartoitusalueet on luokiteltu maanosittain. Lisäksi tietyt maat on käyty vielä erikseen läpi tarkemmin. Näitä maita ovat Kiina, Etelä-Korea, Japani ja Suomi. Hahmotusapuna käytetään karttoja ja taulukoita, joista lukijan on helppo nähdä myös yritykset, niiden sijainti ja niiden tarjoamat tuotteet.</p> <p>Tarkoituksena on myös verrata akkuteknologia-alan menestystä eri maanosissa ja maissa sekä arvioida alan ja sen yritysten mahdollisia tulevaisuudennäkymiä perustuen asiantuntijoiden arvoihin akkuteknologian tarpeesta tulevaisuudessa.</p> <p>Kartoituksessa tuli selville, että Kiinassa, Japanissa ja Etelä-Koreassa tuotetaan suurimaksi osaksi valmista CAM-materiaalia ja pCAM-tuottajia löytyi erittäin vähän. Euroopassa löytyy sekä pCAM-, että CAM-tuottajia, mutta tuottajia ei yhteensä ole niin paljoa kuin Aasiassa. Yritykset kertovat melko avoimesti tehtaissa valmistamistaan tuotteista kuten, esimerkiksi pCAM, CAM, kennot ja muut akkuihin tarvittavat osat. Yritykset ovat kuitenkin tarkkoja siitä, mitä kertovat käyttämästään teknologiasta ja laitteista, sillä ne luokitellaan liikesalaisuuksiksi.</p>	
Avainsanat	pCAM, CAM, akkuteollisuus, akkuteknologia, litiumioniakku

Author Title Number of Pages Date	Xiao Feng Ma Mapping and Servicescape of Battery Chemical Technologies (Suppliers and Producers of pCAM and CAM) 32 pages + 1 appendices 11 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Bio- and Chemical technology
Professional Major	Chemical technology
Instructors	Timo Laitinen, Senior Lecturer Erno Voutilainen, Project Manager
<p>The main objective of this thesis was the mapping of battery chemical technologies to find suppliers and producers of pCAM and CAM and process technology providers at the global level. This thesis was carried out in collaboration with Sweco Industry Oy.</p> <p>Before the mapping itself, the thesis presents through the lithium-ion battery operating principles, different kinds of lithium-ion batteries and intended uses for them, as well as pCAM and CAM production process.</p> <p>In the start of the mapping section, the thesis introduces the pCAM raw material providers, that is, it explains which companies produce metal sulfate, in which continents and countries they will be found, and how that may affect the development of battery chemical technologies in that area. After that, the thesis presents the mapping and servicescape of pCAM and CAM producers, where the mapping areas are categorized by continent. In addition, certain countries will be studied more closely. These countries are China, South-Korea, Japan and Finland. Maps and tables are used to help the reader easily see the different companies, their location and the products that they offer.</p> <p>The purpose of the thesis was also to compare the success of battery chemical technology field in different continents and countries. As well as to estimate the possible future scenarios of this field and its companies, based on the estimates and opinions of the experts, regarding the needs of the battery technologies in the future.</p> <p>It was found during the mapping that companies in China, Japan and South-Korea produce more CAM material, but only very few pCAM producers could be found. In Europe there can be found both CAM and pCAM producers, but there are not so many producers overall than in Asia. Companies tell openly about the products they produce. For example, pCAM, CAM and some other parts required for batteries such as cells, but are very careful about what they tell about the technology and equipment they use because apparently, they are classified as business secrets.</p>	
Keywords	pCAM, CAM, battery industry, battery technology, lithium-ion battery

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Akku	2
2.1	Akun toimintaperiaate	2
2.2	Erilaisia akkuja	3
3	Litiumioniakku	4
3.1	Litiumioniakun toimintaperiaate	4
3.2	Erilaiset litiumioniakut	5
3.2.1	Litium-kobolttioksidi (LCO)	6
3.2.2	Litium-rautafosfaatti (LFP)	7
3.2.3	Litium-mangaanioksidi (LMO)	8
3.2.4	Litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidi (NMC)	9
3.2.5	Litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidi (NCA)	10
3.2.6	Katodi-litiumioniakkujen ominaisuuksien vertailu	11
4	pCAM- ja CAM-prosessien yleiskuvaus	12
4.1	Katodiaktiivimateriaalin esiaste (pCAM)	12
4.2	Katodiaktiivimateriaali (CAM)	13
5	pCAM- ja CAM-tuottajien kartoitus	16
5.1	pCAMin raaka-ainetuottajia	16
5.2	CAM-materiaalien tuottajat maailmassa	17
5.2.1	Aasia	17
5.2.2	Eurooppa	21
5.2.3	Pohjois- ja Etelä-Amerikka	25
5.3	Laite- ja teknologiavalmistajat	26
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	27
	Lähteet	29

Liitteet

Liite 1. Kaikki kartoituksessa löydetyt pCAM- ja CAM-tuottajayritykset.

Lyhenteet

CAM	Katodiaktiivimateriaali (Cathode active material)
LCO	Litium-kobolttioksidi (Lithium cobalt oxide)
LFP	Litium-rautafosfaattiakku (Lithium iron phosphate)
LMO	Litium-mangaanioksidi (Lithium-ion manganese oxide)
LTO	Litium-titanaattiakku (Lithium-titanate battery)
NCA	Litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidi (Lithium nickel cobalt aluminum oxides)
NMC	Litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidi (Lithium nickel manganese cobalt oxides)
pCAM	Katodiaktiivimateriaalin esiaste (precursor cathode active material)
YVA	Ympäristövaikutusten arviointimenettely

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa akkuteollisuuden yritykset, jotka tarjoavat katodiaktiivimateriaaleja. Tavoitteena on myös käydä läpi akkuteknologiatoimittajat, jotka tarjoavat joko koko- tai osaprosessiteknologian, sekä laite-toimittajat ja -valmistajat. Kartoitus on tehty yhteistyössä Sweco Industry Oy:n kanssa. Kartoitus painottuu pääasiassa litiumioniakkujen valmistuksessa tarvittaviin katodiaktiivimateriaalin esiasteen ”precursor cathode active material” eli pCAMin ja katodiaktiivimateriaalin ”cathode active material” eli CAMin tuottajiin. Työssä käsitellään myös jonkin verran yleisesti akkuteknologiaa, erityisesti erilaisia litiumioniakkuja ja niiden eroja. Työssä selitetään myös katodiaktiivimateriaalin esiasteen tuotantoprosessin vaiheet sekä mistä materiaaleista sitä valmistetaan. Samoin käydään myös läpi katodiaktiivimateriaalin esiasteen jalostus edelleen valmiiksi katodiaktiivimateriaaliksi.

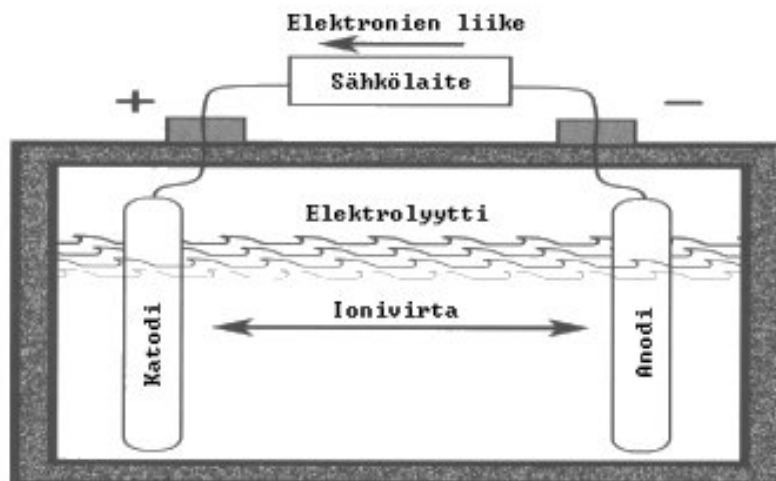
Opinnäytetyön aiheeksi on valittu akkuteollisuuden kemikaalitekniikoiden kartoittaminen, sillä akkuteollisuus on nouseva teollisuuden- ja teknologianala, joka työllistää vuosi vuodelta enemmän ihmisiä ympäri maailmaa. Sen vaikutukset ulottuvat myös moneen muuhun alaan kuten kaivos-, auto- ja elektroniikkateollisuuteen. Maailma muuttuu koko ajan enemmän teknologiapainotteiseksi ja teknologia tarvitsee virtaa toimiakseen. Tästä syystä myös akkuja kehitetään jatkuvasti tehokkaammiksi teknologian kehittyessä. Siksi akkuteollisuudesta on tullutkin yksi nopeimmin kasvavia teollisuudenaloja.

Erityisen polttavia aiheita nykyisin ovat ilmastonmuutos ja sen hidastaminen sekä toivottavasti myös torjuminen. Tämä on myös yksi syy siihen, miksi akkuteollisuudelta odotetaan niin suuria. Uudelleenladattavat akut ovat paljon ympäristöystävällisempi käyttövoima koneille ja laitteille verrattuna erilaisiin polttoaineisiin kuten dieseliin, öljyyn ja bensiiniin. Erityisesti sähköautojen kasvava kysyntä ja kehittäminen ovat johtaneet sähköautojen virtalähteenä käyttämien akkujen kysynnän nousuun ja akkuteknologian kehittämiseen. Akku voidaan käytön jälkeen ladata ja käyttää uudestaan. Tästäkin syystä akkujen käyttö ja sen mukana akkuteknologian kehittäminen ovat lähteneet nousuun jolle ei näy loppua. [1; 2.]

2 Akku

2.1 Akun toimintaperiaate

Akku on sähkökemiallinen laite, joka varastoi energiaa. Kun akkua ladataan se muuttaa sähköenergian kemialliseksi energiaksi. Kun akkua käytetään eli energiavarasto puretaan, niin kemiallinen varastoitu energia muutetaan taas sähköenergiaksi, jolla voidaan tuottaa sähkövirtaa tarvittavaan tarkoitukseen. Kuten kuvassa 1 esitetään, akku koostuu elektrolyytinesteestä, johon upotetaan kaksi elektrodia. Elektrolyytineste estää näitä kahta elektrodia koskemasta toisiinsa ja ionit kulkevat siinä kahden elektrodin välillä. [3; 4.]



Kuva 1. Yksinkertaistettu akun toimintaperiaate. [3.]

Elektrodeja kutsutaan katodiksi ja anodiksi. Vaikka teollisuudessa ja arkikielessä nimitetään positiivista napaa (+) katodiksi ja negatiivista napaa (-) anodiksi, todellisuudessa elektrodin nimitys riippuu kuitenkin siitä, mikä reaktio sen pinnalla tapahtuu. Anodi on elektrodi, joka luovuttaa elektroneja eli hapettuu ja katodi on elektrodi, joka vastaanottaa elektroneja eli pelkistyy. Anodin ja katodin roolit eivät ole sidottuja vaan molemmat elektrodit ovat vuorollaan anodi ja katodi riippuen siitä, kumpi luovuttaa elektroneja ja kumpi vastaanottaa niitä. Kun akku purkautuu, anodina toimiva elektrodi hapettuu ja katodina

toimiva elektrodi pelkistyy. Akun latauksen yhteydessä hapetus- ja pelkistysreaktiot tapahtuvat vastakkaisilla elektrodeilla. Eli purkausreaktiossa anodina toiminut elektrodi toimii latausreaktion aikana katodina ja samoin purkausreaktion aikana katodina toiminut elektrodi toimii nyt latausreaktion aikana anodina. [5, s. 4–6.]

2.2 Erilaisia akkuja

Akkuja on monenlaisia ja akun ulkomuoto sekä ominaisuudet riippuvat siitä, mitä tarkoitusta varten se on rakennettu. Pienet akut, joita on esimerkiksi puhelimissa, eroavat suuresti muun muassa autojen tai muiden isojen teollisuuskoneiden akuista. Kaikkien akkujen tarkoituksena on kuitenkin olla mahdollisimman hyvin tarkoitukseensa sopivia, niin kokonsa kuin ominaisuuksiensa puolesta. Niiden tulisi olla myös mahdollisimman yksikertaisia, mutta kestäviä ja tehokkaita. [4; 6, s. 4–8; 7, s. 3–7.]

Erilaisia akkutyyppejä:

- lyijyakku
- nikkeli-kadmium-akku
- nikkelimetallihydridiakku
- litiumioniakku.

Litiumioniakkujen käyttö on kasvanut jatkuvasti, sillä verrattuna muihin aineisiin litiumilla on suurin negatiivinen pelkistymispotentiaali ja reaktiivisuus. Lyijyakutkin ovat vielä melko suuressa käytössä, mutta niidenkin osuus markkinoilla on pienentynyt vuosi vuodelta, kun litiumioniakkujen käyttö taas on noussut. Akuista halutaan mahdollisimman kestäviä ja pitkäikäisiä, mutta myös helposti kierrätettäviä. Akut ovat ongelmajätettä ja tämän takia niistä alun perinkin halutaan rakentaa mahdollisimman pitkäikäisiä. Näistä syistä nimenomaan litiumioniakut ovat yleistyneet, sillä niissä on suurempi energiakapasiteetti muihin akkutyyppeihin verrattuna. Eli samankokoinen litiumioniakku tarjoaa suuremman tehon kuin perinteisemmät verrokkinsa. [4; 6, s. 4–25; 8, s. 11–13.]

3 Litiumioniakku

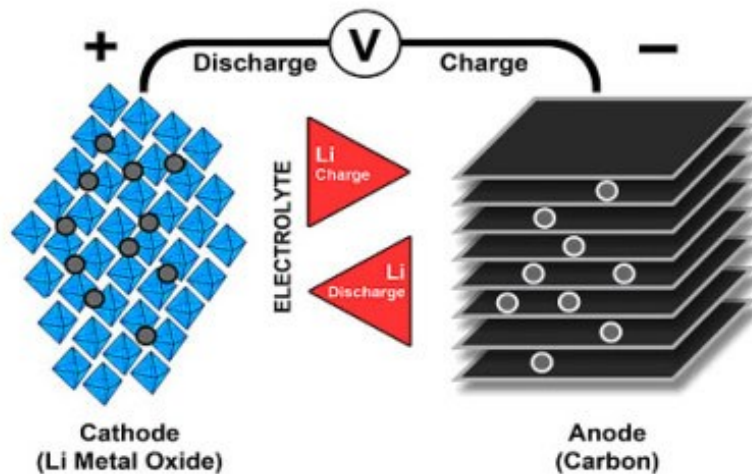
Litiumioniakut ja CAM-materiaalit ovat energianvarastointialalla melko uusia tulokkaita. Ensimmäinen kaupallinen litiumioniakku kehitettiin vasta vuonna 1991. Maailman kehityksessä alettiin tarvitsemaan yhä tehokkaampia energian varastointikeinoja vastaamaan kasvavaan teknologian ja laitteiden kehitykseen sekä virran käyttöön.

Litium (Li) on kevyin alkalimetalli ja sitä käytetään monilla eri tekniikan- ja teknologian aloilla erilaisten tuotteiden valmistuksessa, kuten elektroniikassa ja kulkuneuvoissa. Siitä valmistettavien tuotteiden etu on usein kevyt paino ja tämä näkyy erityisesti pienelektroniikassa, jossa pääsääntöisesti kaikki akut ovat litiumpohjaisia. [7, s. 3–7; 8, s. 9–12; 9, s. 7.]

Nykyään markkinoilla käytetään enemmän ja enemmän litiumioniakkuja. Litiumioniakuissa on akkutyypeistä pienin itsepurkautuminen, joten akku on erittäin kestävä ja pitkäikäinen. Litiumioniakuilla on myös suuri energiakapasiteetti eli pienessä ja kevyessä koossa saadaan paljonkin tehoa ja kestävyttä. Näiden syiden takia litiumioniakkujen käyttö on lisääntynyt kaikilla teknologian osa-alueilla, erityisesti kulkuneuvo- ja pienelektroniikka-aloilla. [10, s. 7–9.]

3.1 Litiumioniakun toimintaperiaate

Katodi-litiumioniakku toimii samalla perusperiaatteella kuin muutkin akut, mutta siinä käytetään negatiivisena elektrodina grafiittia ja positiivisena elektrodina litium-metalliyhdistettä. Litiumioniakun purkautuessa negatiivinen napa eli grafiitti luovuttaa ja positiivinen napa eli litium-metalliyhdiste vastaanottaa litiumioneja. Litiumioniakun latautuessa positiivinen napa eli litium-metalliyhdiste luovuttaa ja negatiivinen napa eli grafiitti vastaanottaa litiumioneja. Elektrodien välissä elektrolyyttiliuoksessa liikkuu ainoastaan litiumionia, kun taas elektronit liikkuvat ulkopuolista metallista johdinta pitkin kahden elektrodin välillä. Elektrolyyttineste litiumioniakuissa koostuu litiumsuoloista ja orgaanisista liuottimista, jotka ovat samankaltaisia kuin etyleenikarbonaatti. Elektrolyyttinesteen tarkkaa koostumusta voidaan vaihdella riippuen valituista elektrodeista. Litiumioniakun toiminta on selitetty myös kuvassa 2. [3; 4.]

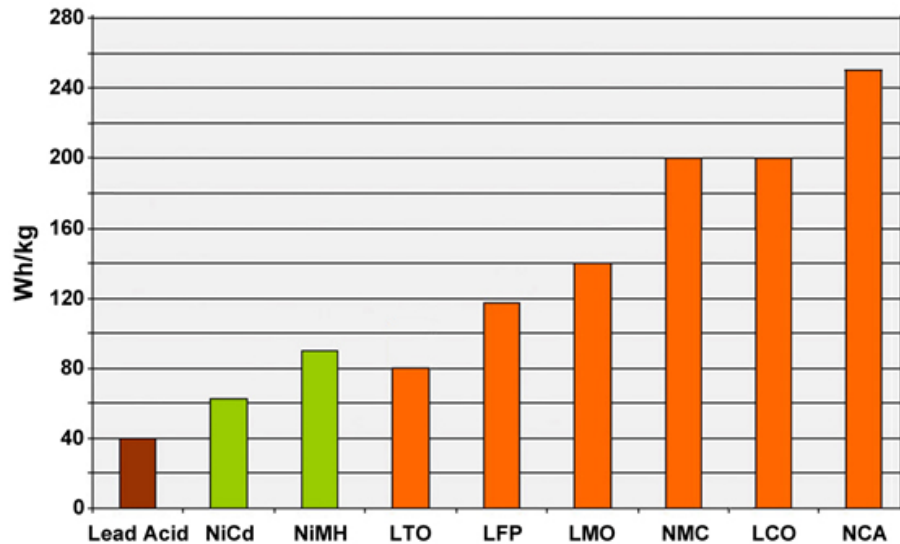


Kuva 2. Katodi-litiumioniakun toiminta. [4.]

Anodi-litiumioniakku eli litium-titanaattiakku (LTO) toimii samalla periaatteella kuin katodi-litiumioniakku, näiden eroavaisuus on anodi-litiumioniakussa käytetyissä elektrodeissa. Katodi-litiumioniakussa käytetään elektrodeina grafiittia ja litium-metalliyhdistettä, mutta anodi litiumioniakussa käytetään elektrodeina kahta litium-metalliyhdistettä, yleisemmin litium-mangaanioksidia tai NMC. Tässä työssä keskitytään puhumaan katodi-litiumioniakuista ja jätämme anodi-litiumioniakun (LTO) huomiotta. [4.]

3.2 Erilaiset litiumioniakut

Tällä hetkellä markkinoilla on kuusi erilaista litiumioniakkua, joista jokaisella on omat käyttötarkoituksensa ja -kohteensa. Yksi näistä kuudesta litiumioniakkutyypistä on anodi-litiumioniakku (LTO) ja loput viisi ovat katodi-litiumioniakkuja. Kuvassa 3 esitetään eri litiumioniakkujen energiakapasiteettia suhteessa painoon verrattuna muihin akkutyyppeihin. [4.]



Kuva 3. Eri litiumioniakkujen energiakapasiteetti suhteessa painoon verrattuna muihin akkutyyppeihin. Oranssit palkit edustavat litiumioniakkuja. [4; 11.]

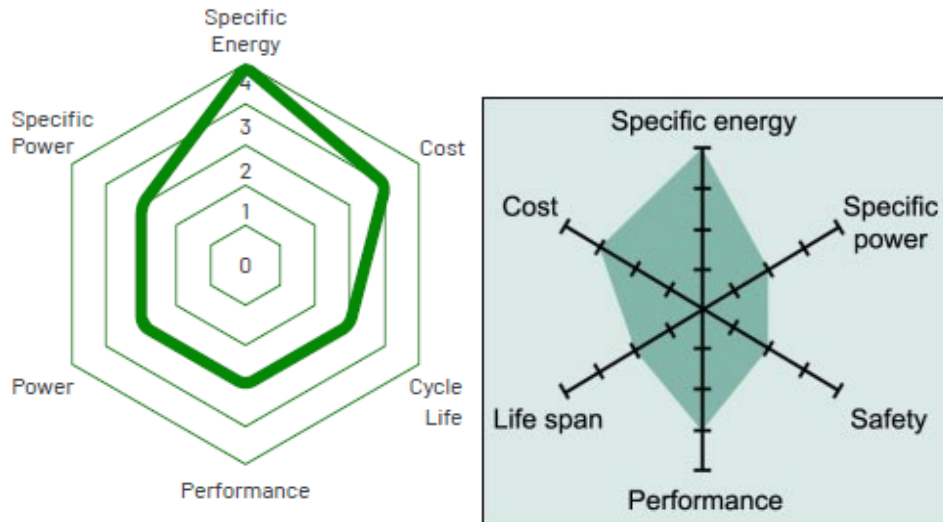
Erilaiset katodi-litiumioniakut:

- litium-kobolttioksidi (LCO)
- litium-rautafosfaatti (LFP)
- litium-mangaanioksidi (LMO)
- litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidi (NMC)
- litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidi (NCA).

3.2.1 Litium-kobolttioksidi (LCO)

Litium-kobolttioksidi (LCO) on paras akkuvalinta pienenälektronikkaan, kuten esimerkiksi matkapuhelimiin, kannettaviin tietokoneisiin ja kameroihin. LCO-akuilla on suurin ominaisenergia (specific energy) eli kuinka paljon energiaa pystyy varastoimaan suhteessa painoon. LCO-akkujen suurimmat ongelmat taas ovat korkeat kustannukset (cost) ja melko lyhyt elinaika (life span, cycle life). Tämä johtuu siitä, että koboltin hinta on melko korkea, mutta sen käyttöikä ei ole niin pitkä. Tämän takia LCO-akkuja käytetään pienenälektronikassa esimerkiksi matkapuhelimiin ja kameroihin, joiden käyttöä ei muutenkaan ole tarkoitus olla vuosikymmeniä. LCO-akun toinen huono puoli on sen herkkyys korkeille lämpötiloille. Mikäli akku altistuu liian korkealle lämpötilalle, siinä tapahtuu läm-

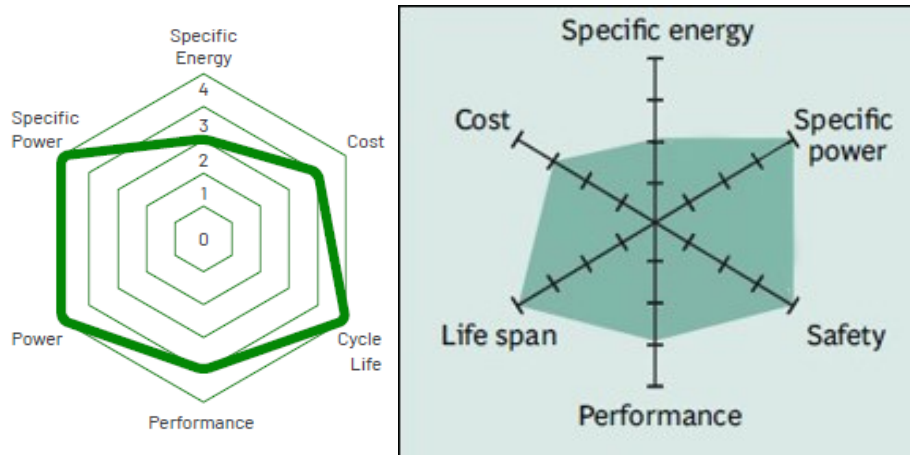
mönkarkausreaktio, joka aiheuttaa akun hajoamisen ja sitä kautta mahdollisesti vaaratilanteita. Lämmönkarkausreaktio tapahtuu kuitenkin vasta, jos akku altistuu yli 120 °C:n lämpötiloille. LCO-akun ominaisuudet ovat nähtävissä kuvassa 4. [4;11, s.16; 12.]



Kuva 4. Kaksi eri kuvaa LCO-akun ominaisuuksista. [4; 11, s. 16.]

3.2.2 Litium-rautafosfaatti (LFP)

Litium-rautafosfaattiakut (LFP) ovat erittäin turvallisia ja lisäksi niissä on erittäin pitkä käyttöikä sekä hyvä ominaisteho ja teho (specific power ja power). Ne kestävät myös täyteen ladattuina melko pitkänkin säilytyksen, mutta niiden haittapuolena on kallis valmistus. Akun ominaisuudet on esitetty kuvassa 5. LFP-akkuja käytetään yleensä ajoneuvoissa kuten sähköautoissa ja -polkupyörissä, koska LFP-akut ovat turvallisempia verrattuna muihin akkutyyppeihin. Lisäksi LFP-akut säilyttävät tehonsa, vaikka lämpötila vaihtelisi eli akku kestää hyvin sekä talvella, että kesällä. Ne soveltuvat senkin takia hyvin ajoneuvojen akuiksi eikä tarvitse pelätä, että esimerkiksi kovalla pakkasella sähköauto ei enää toimitakaan. [4; 11, s. 15; 12.]



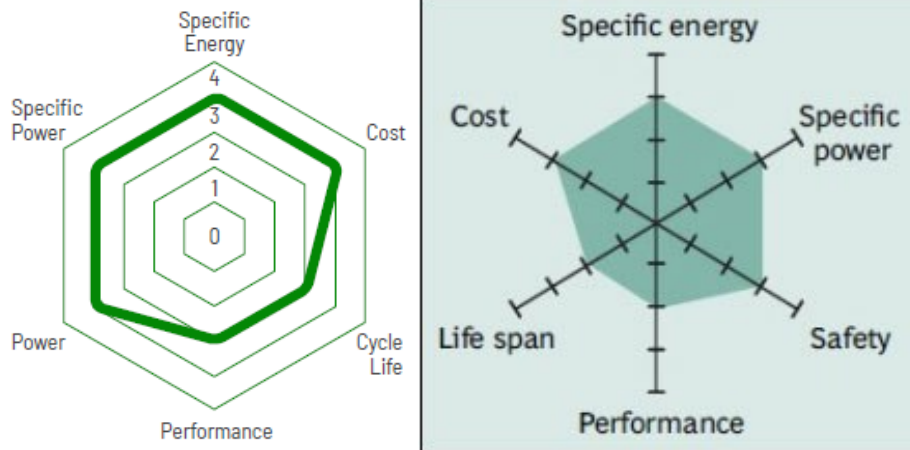
Kuva 5. Kaksi eri kuvaa LFP-akun ominaisuuksista. [4; 11, s. 15.]

3.2.3 Litium-mangaanioksidi (LMO)

Litium-mangaanioksidiakku (LMO) on yksi vanhimmista litiumioniakkutyypeistä ja sen käyttö oli suosittua 90-luvulla. Nykyään LMO-akkujen kehityspotentiaali on kuitenkin suhteellisen rajallinen.

LMO-akuilla on melko korkea ominaisteho (specific power) ja teho (power), lisäksi niillä on myös melko hyvä lämmönkestävyys. Sen haittapuolia taas ovat lyhyt elinikä (cycle life, life span) ja matala suorituskyky (performance). Nämä ominaisuudet esitetään kuvassa 6. Käyttökohteet ovat tietynlaiset laitteet esimerkiksi tietyt sairaalalaitteet, joissa tarvitaan suurta ominaisenergiaa (specific energy) hetkellisesti. Eikä akkua tarvitse ladata ja purkaa kovinkaan usein, koska sitä ei käytetä jatkuvasti, sillä LMO-akku ei kestä useita lataus- ja purkausreaktioita.

LMO-akkuja on kuitenkin alettu käyttämään yhdessä NMC-akkujen kanssa samassa järjestelmässä, jotta saadaan molempien akkujen hyvät puolet hyödynnettyä. Monissa sähköautoissa käytetäänkin näiden akkujen yhdistelmää kuten esimerkiksi Nissan Leaf, Chevy Volt ja BMW i3. Järjestelmässä noin 30 % on LMO-akku osaa ja loput NMC-akkuja. Näin saadaan LMO-akun hyvä teho esimerkiksi kiihdytysvaiheessa, mutta NMC-akun hyvät puolet käyttöiässä ja kestävydessä. [4; 11, s. 15; 12.]

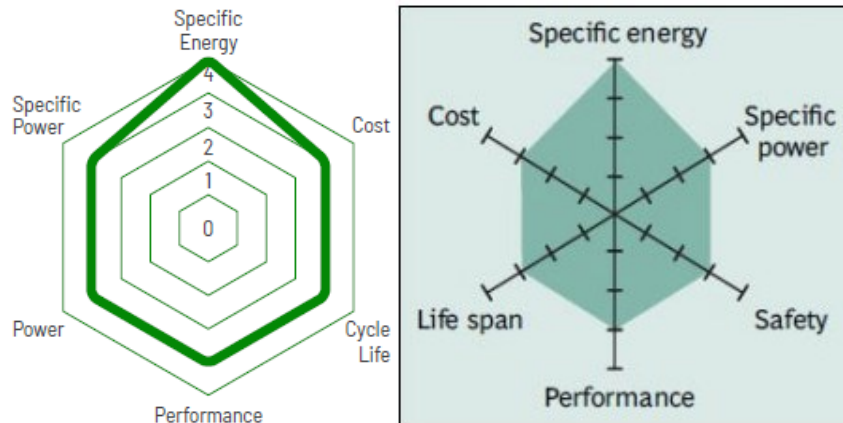


Kuva 6. Kaksi eri kuvaa LMO-akun ominaisuuksista. [4; 11, s. 15.]

3.2.4 Litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidi (NMC)

Litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidiakku eli (NMC) on suosittu litiumioniakkutyypin esimerkiksi sähköautoissa ja -työkaluissa. NMC-akulla on hyvä suorituskyky (performance) ja korkea ominaisenergia (specific energy) ja sen lisäksi se kuumenee melko hitaasti. Hinta on melko korkea, mutta se riippuu missä suhteessa raaka-aineita eli nikkeliä, mangaania ja kobolttia käytetään. Mitä enemmän kobolttia, sitä hintavampi akku on. Yleisin suhde on kaikkia yksi kolmasosa. Akkuvalmistajat pyrkivät tosin jatkuvasti vähentämään kobolttin suhdetta, sillä se on kallein ainesosa, tosin tämä syö hieman akun suorituskykyä. Tutkimusten seurauksena onkin löytynyt toimiva yhdistelmä NMC532, jossa on 5 osaa nikkeliä, 3 osaa kobolttia ja 2 osaa mangaania. Muita hyviä yhdistelmiä ovat myös NMC622 ja NMC811. NCM-akun ominaisuudet esitetään kuvassa 7. [4; 11, s. 17; 12.]

NMC-akuista (NiMnCo) ja seuraavassa kohdassa esitellyistä NCA-akuista (NiCoAl) käytetään myös nimitystä kolmikomponenttiakut, sillä ne koostuvat kolmesta eri kemiallisesta komponentista. Nimitys kolmikomponenttiakku on käytössä Aasiassa paikalliskielillä, ja Aasiassa myös akkutuotanto keskittyy näihin kahteen akkutyypin. [4; 11, s. 17; 12.]

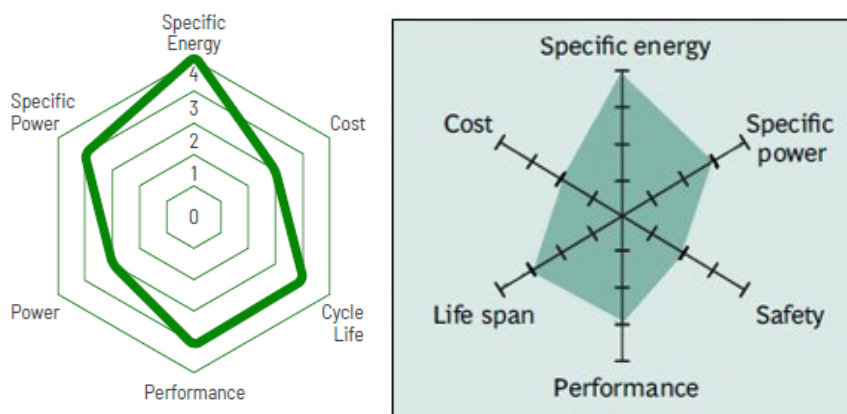


Kuva 7. Kaksi eri kuvaa NMC-akun ominaisuuksista. [4; 11, s. 17.]

3.2.5 Litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidi (NCA)

Litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidiakku eli NCA-akku on melko samanlainen kuin NMC-akku. Molemmissa on korkea ominaisenergia (specific energy) ja kohtuullisen hyvä ominaisteho sekä pitkä käyttöikä, mutta turvallisuudessa ja hinnassa NCA-akku on huonompi kuin NMC-akku. NCA-akun ominaisuudet ovat nähtävissä kuvassa 8. NCA-akkuja käytetään muun muassa sähkökulkuneuvojen virranlähteenä ja tällä hetkellä NCA-akkuja käyttävät ainakin Panasonic ja Tesla. [4; 11, s. 16; 12.]

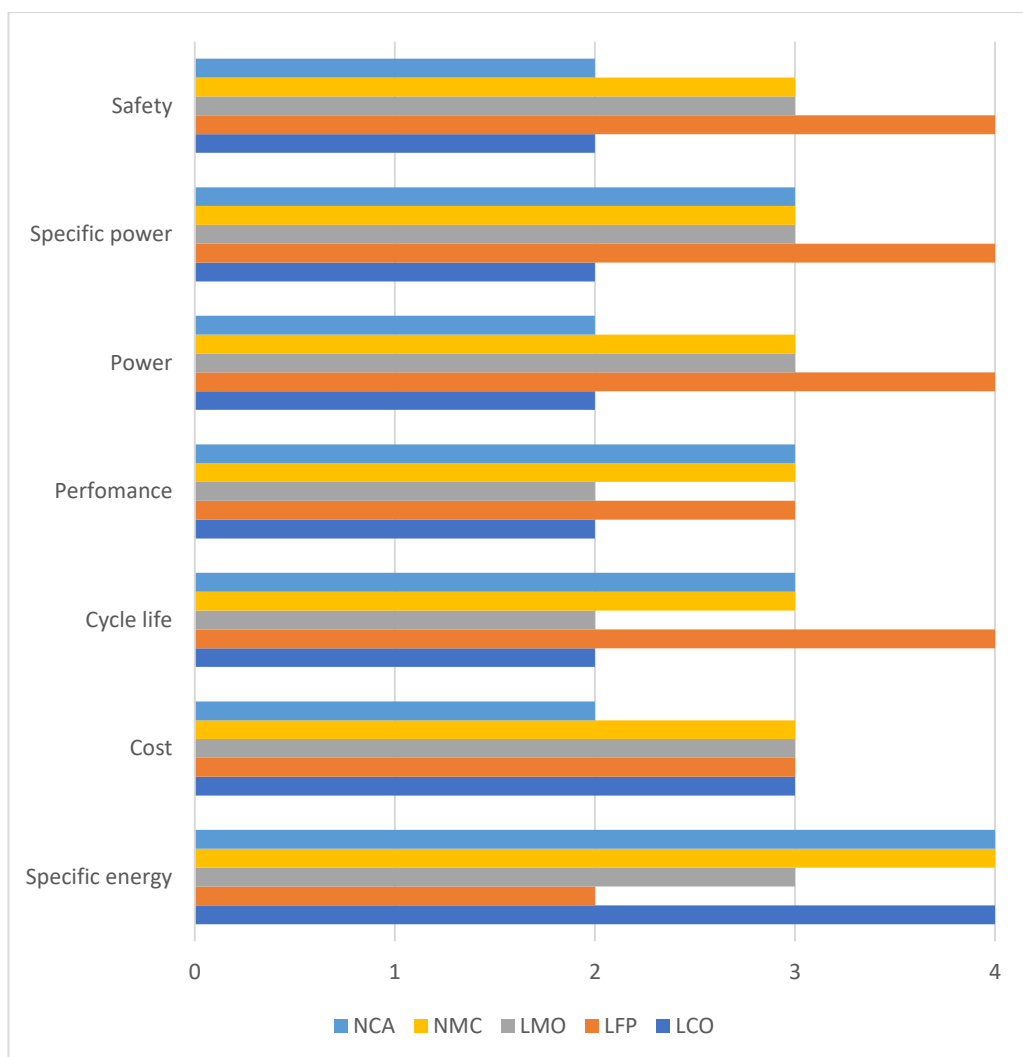
NCA-akku on toinen kolmikomponenttiakuista yhdessä NCM-akun kanssa. Tämä nimitys on yhteinen nimitys näille kahdelle litiumioniakutyyppille Aasiassa. [4; 11, s. 16; 12.]



Kuva 8. Kaksi eri kuvaa NCA-akun ominaisuuksista. [4; 11, s. 16.]

3.2.6 Katodi-litiumioniakkujen ominaisuuksien vertailu

Kuvassa 9 esitetään edellisissä luvuissa läpikäytyjen katodi-litiumioniakkujen ominaisuudet kuvaajassa, jolloin eri akkujen ominaisuuksia on helppo verrata keskenään. Kuten kuvasta voidaan huomata, LFP-akku on monissa ominaisuuksissa ylivoimainen muihin akkuihin nähden. LFP-akun matala ominaisenergia (specific energy) on sen haittapuoli ja se tekee siitä huonomman vaihtoehdon muihin katodi-litiumioniakuihin verrattuna. Nykypäivänä akkuihin halutaan varastoida yhä enemmän energiaa, mutta samalla niistä halutaan tehdä mahdollisimman kevyitä. Tämä ominaisuus on nimenomaan LFP-akun suurin heikkous, mikä vaikuttaa suuresti sen kilpailukykyyn. [4; 11, s. 15–17; 12.]



Kuva 9. Edellä mainittujen katodi-litiumioniakkujen ominaisuuksien vertailu. Kuvan kohdassa kustannukset (cost) suurempi pistemäärä tarkoittaa matalampia kustannuksia. [4; 11; 12.]

4 pCAM- ja CAM-prosessien yleiskuvaus

4.1 Katodiaktiivimateriaalin esiaste (pCAM)

Katodiaktiivimateriaalin esiaste eli pCAM (precursor cathode active material) valmistetaan erilaisista raaka-aineista, jotka käyvät läpi monimutkaisen prosessin. Valmis pCAM käytetään edelleen katodiaktiivimateriaalin valmistukseen. pCAM:ia on monenlaista, riippuen siitä minkälaisen litiumioniakun valmistukseen sitä tullaan lopulta käyttämään. pCAM-valmistuksessa käytetään yleensä nikkeli-, koboltti- ja mangaanisulfaattia riippuen valmistettavasta litiumioniakkutyypistä. Jokaisessa eri litiumioniakkutyypissä tarvitaan erilaista CAM-materiaalia, ja CAM-materiaalin ominaisuudet määräytyvät sen valmistukseen käytettävästä pCAM:ista. [11, s. 20–47; 13.]

Metallisulfaatteja, joita käytetään pCAMin pääraaka-aineina

- nikkelisulfaatti
- kobolttisulfaatti
- mangaanisulfaatti
- alumiinisulfaatti
- rautasulfaatti.

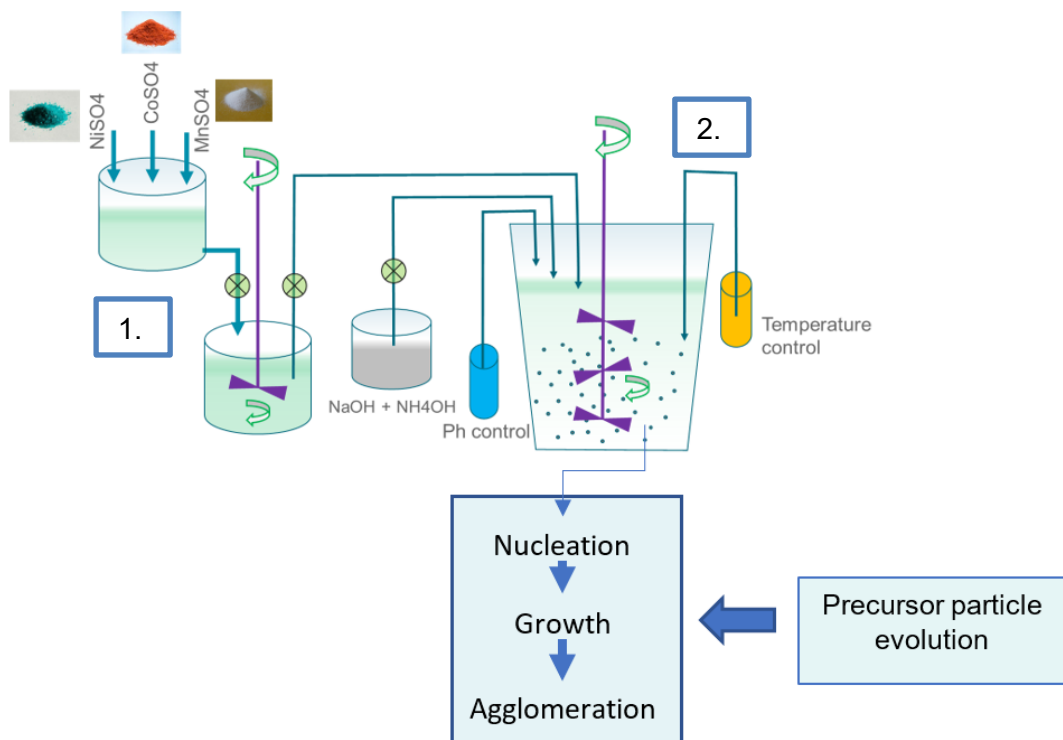
Pääasialliset hyödykkeet pCAM-tuotannossa ovat

- ammoniakkivesi
- natriumhydroksidi
- typpi
- rikkihappo
- paineilma
- höyry.

Prosessin ensimmäisessä vaiheessa raaka-aineet esikäsitellään, tässä tarkoituksena on jauhaa ja lajitella raaka-aineet. Seuraavaksi tarvittavat metallisulfaatit sekoitetaan keskenään. Sekoitussuhde riippuu siitä, mitä pCAM:ia halutaan loppujen lopuksi valmistaa. Tämä vaihe näkyy kuvassa 10 vaihe 1.

Raaka-aineiden käsittelyn jälkeen alkaa saostusvaihe, jossa metallisulfaattiseos saostetaan natriumhydroksidin ja ammoniakkiveden kanssa. Tästä muodostuu kiintoainetta, joka on liuoksessa. Tämä vaihe on esitetty kuvassa 10 vaihe 2. Seuraavassa vaiheessa eli suodatusvaiheessa muodostunut kiintoaine erotellaan liuoksesta suodattamalla.

Seuraavaksi suodatusvaiheessa eritelty kiintoaine eli pCAM kuivataan, jolloin on muodostunut valmista pCAM:ia. Valmis pCAM siirretään joko laitoksen sisällä CAM-tuotantopuolelle tai pakataan muille yrityksille, jotka valmistavat siitä itse CAM-materiaalia. Koko prosessi pois lukien kuivausvaihe on esitetty kuvassa 10. [11, s. 20–47; 13.]



Kuva 10. pCAM-tuotantovaiheet, kuvassa ei kuitenkaan näy kuivausvaihetta. [14.]

4.2 Katodiaktiivimateriaali (CAM)

CAM (Cathode Active Material) eli katodiaktiivimateriaali tuotannossa valmistetaan pesyä, kuivattua, kalsinoitua ja litioitua litiumioniakkujen katodiaktiivimateriaalia, joka on tär-

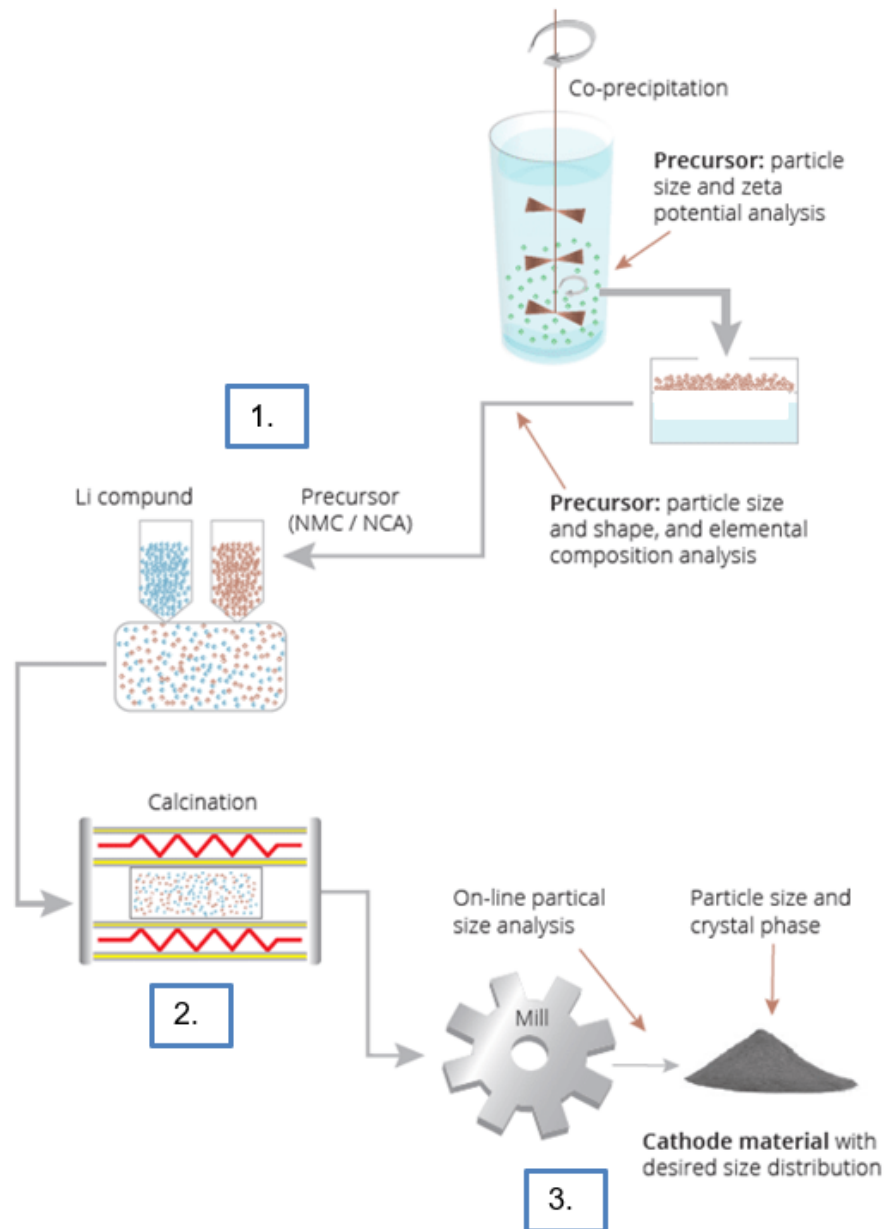
keä komponentti akkujen valmistuksessa. CAMin pääraaka-aineet ovat pCAM ja litiumhydroksidi tai litiumkarbonaatti sekä pääasialliset hyödykkeet, kuten happi, paineilma ja höyry. [13; 15.]

Mikäli pääraaka-aineena käytetään pCAMin lisäksi litiumhydroksidia niin CAM-tuotantoprosessi aloitetaan litiumhydroksidin dehydraatiolla, jonka tarkoituksena on poistaa kidevedellisestä litiumhydroksidista vettä. Jos pääraaka-aineena käytetään taas litiumkarbonaattia niin dehydraatiovaihetta ei tarvitse tehdä, sillä litiumkarbonaatti toimitetaan kidevedettömänä. [13; 15.]

Tämän jälkeen dehydratoitu litiumhydroksidi tai kidevedetön litiumkarbonaatti homogoidaan pCAMin kanssa, jonka seurauksena muodostuu seos. Tämä vaihe esitetään kuvan 11 kohdassa 1. Tämän jälkeen seos kalsinoidaan korkeassa lämpötilassa ja kalsinoinnin tarkoituksena on hajottaa seos ja erotella nopeasti ja helposti haihtuvat tuotteet. Tämä vaihe esitetään kuvan 11 kohdassa 2. Tätä seuraavat pesu- ja suodatusvaiheet. [13; 15.]

Pesuvaiheessa seoksesta poistetaan mahdolliset liukoiset yhdisteet, jonka jälkeen seos suodatetaan ennen jauhantaa ja uudelleen homogointia. Jauhantavaihe on esitetty kuvan 11 kohdassa 3. Kun kaikki vaiheet on suoritettu, saadaan valmiiksi litiointua ja kuivattua katodiaktiivimateriaalia. Koko CAM-tuotantoprosessi on esitettyä yksinkertaisesti kuvassa 11. Kuvassa ei näytetä pesu-, suodatus- tai uudelleen homogointivaiheita. [13; 15.]

Eli koko CAM-tuotannon tarkoituksena on valmistaa katodiaktiivimateriaalia, joka on kaikkien edellä mainittujen prosessien jauhemainen lopputuote, jota käytetään akkukennotehtaissa katodin valmistukseen.

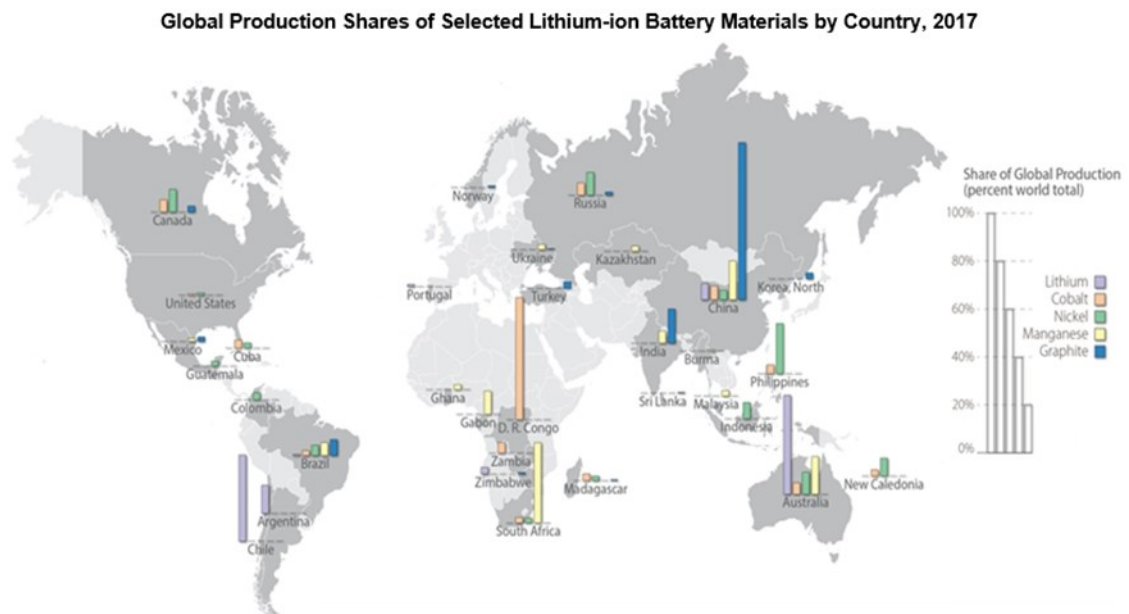


Kuva 11. Katodiaktiivimateriaalin valmistusvaiheet yksinkertaisesti. Kuvassa ei näytetä pesu-, suodatus- tai uudelleen homogointivaiheita. [15.]

5 pCAM- ja CAM-tuottajien kartoitus

5.1 pCAMin raaka-ainetuottajia

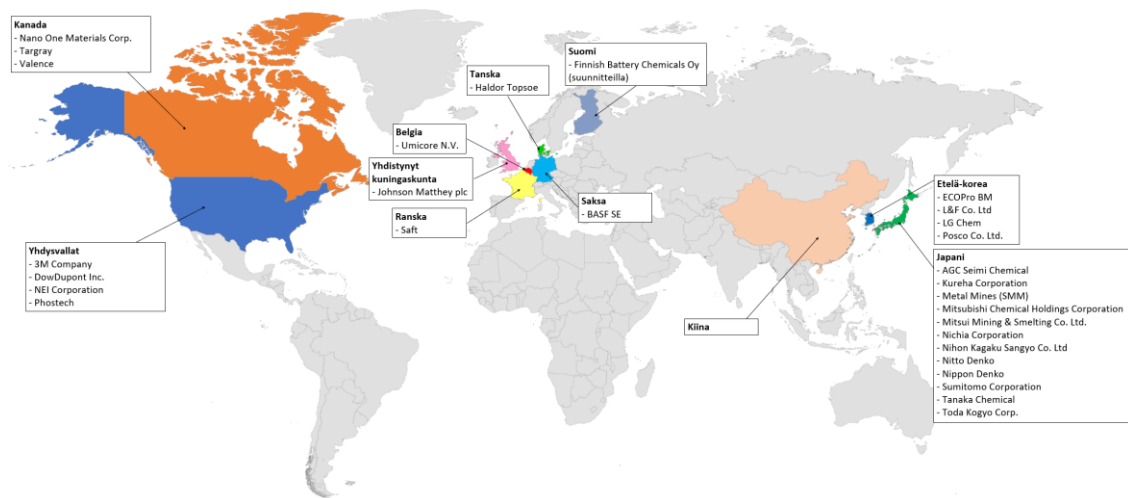
Kuten voidaan huomata kuvasta 12, suurin osa maailman koboltista tuotetaan Kongon demokraattisessa tasavallassa. Koboltti on yksi litiumioniakkujen tärkeimmistä raaka-aineista. Kongossa koboltin louhintaa suorittavat erittäin monet yritykset, jotka ovat rekisteröityneet ympäri maailmaa. Pääsääntöisesti koboltti myydään joko jalostettuna tai raakana seuraavalle yritykselle, joka käyttää sitä pCAMin valmistukseen. Kiina on suurin grafiitin tuottajamaa, grafiittia käytetään litiumioniakuissa anodina. Yli 70 % litiumioniakkujen tuotannosta on Kiinassa, mikä voi osittain selittyä sillä, että siellä louhitaan suurin osa maailman grafiitista. Litiumia tuotetaan eniten Australiassa, Chilessä ja Argentiinassa, mutta myös jonkin verran muissa maissa kuten esimerkiksi Kiinassa. Mangaania tuotetaan eniten Etelä-Afrikassa, mutta myös melko suuria määriä esimerkiksi Gabonissa, Australiassa ja Kiinassa. Filippiineillä tuotetaan nikkeliä eniten maailmassa, mutta sitä tuotetaan myös muun muassa Venäjällä, Kanadassa, Australiassa ja Indonesiassa. [16; 17.]



Kuva 12. Vuoden 2017 akkujen raaka-ainemateriaalien tuotto eri puolilla maailmaa. [16.]

5.2 CAM-materiaalien tuottajat maailmassa

pCAM- ja CAM-tuottajat ovat lisääntyneet varsinkin ihan viime vuosina ja erityisesti Aasiassa, jossa tuotetaan suurin osa maailman CAM-materiaaleista. Tämä näkyy myös kuvassa 13, jossa näkyy CAM-materiaalien tuottajien jakautuminen maailmalla. Kartassa esitetään maat joihin tuottajat ovat rekisteröityneet, tuottajilla voi olla tehtaita myös oman maansa ulkopuolella. Kiinassa on erittäin suuri määrä tuottajia, mistä johtuen kyseisen maan tuottajista on tehty oma kartta, kuva numero 14. [18; 19.]



Kuva 13. CAM-tuottajia eri puolilta maailmaa. Kiinasta on oma kuvansa (kuva numero 14) maalle varatussa osiossa. [2; 18–29.]

5.2.1 Aasia

Suurin osa litiumioniakkujen ja pCAM- ja CAM-materiaalinen tuotannosta on keskittynyt Aasiaan ja jopa 80 % maailman akuista valmistetaan Aasiassa. Aasian monissa maissa on rikas maaperä, joka mahdollistaa raaka-aineiden louhimisen lähellä pCAM- ja CAM-materiaalien jalostustehtaita. Myös akkutehtaat on mahdollista rakentaa näiden läheisyyteen, tämä lyhentää kuljetuksiin käytettävää aikaa huomattavasti. Monet Aasian maat ovat myös vahvan talouskasvun vaiheessa, jolloin yrityksillä on hyvät mahdollisuudet tehdä tuottavaa toimintaa. Tämä taas rohkaisee uusia yrityksiä alalle, jolla on vahva taloudellinen pohja. Muutamien vuosien aikana CAM-materiaalien tuottajien määrä Aasiassa, erityisesti Kiinassa onkin noussut huimasti. [20; 21, s. 2–21; 22; 23.]

CAM-materiaalien tuottajia löytyy enemmän Kiinasta, Japanista ja Koreasta ja näissä maissa tuotanto keskittyy nimenomaan CAM-materiaalin tuottamiseen. Kiinasta ei ainoakaan löytynyt yhtään yritystä, joka tarjoaisi pCAM-materiaalia vaan kaikki yritykset tarjoavat ainoastaan valmiita CAM-materiaalia. Eli ilmeisesti Aasiassa on yleistä, että yritys tuottaa itse pCAM-materiaalinsa ja käyttää sen itse valmiin CAM-materiaalin tekoon, eikä myy sitä tässä välissä muille tuottajille. Aasiassa näiden kolmen maan lisäksi on yksi taiwanilainen CAM-materiaalin tuottajayritys Advanced Litium Electrochemistry. Tuottajia löytyy mahdollisesti myös Venäjältä ja Intiasta, mutta tietoa ei ole juurikaan saatavilla näitä maita koskien. [20; 21, s. 2–21; 22; 23.]

5.2.1.1 Japani

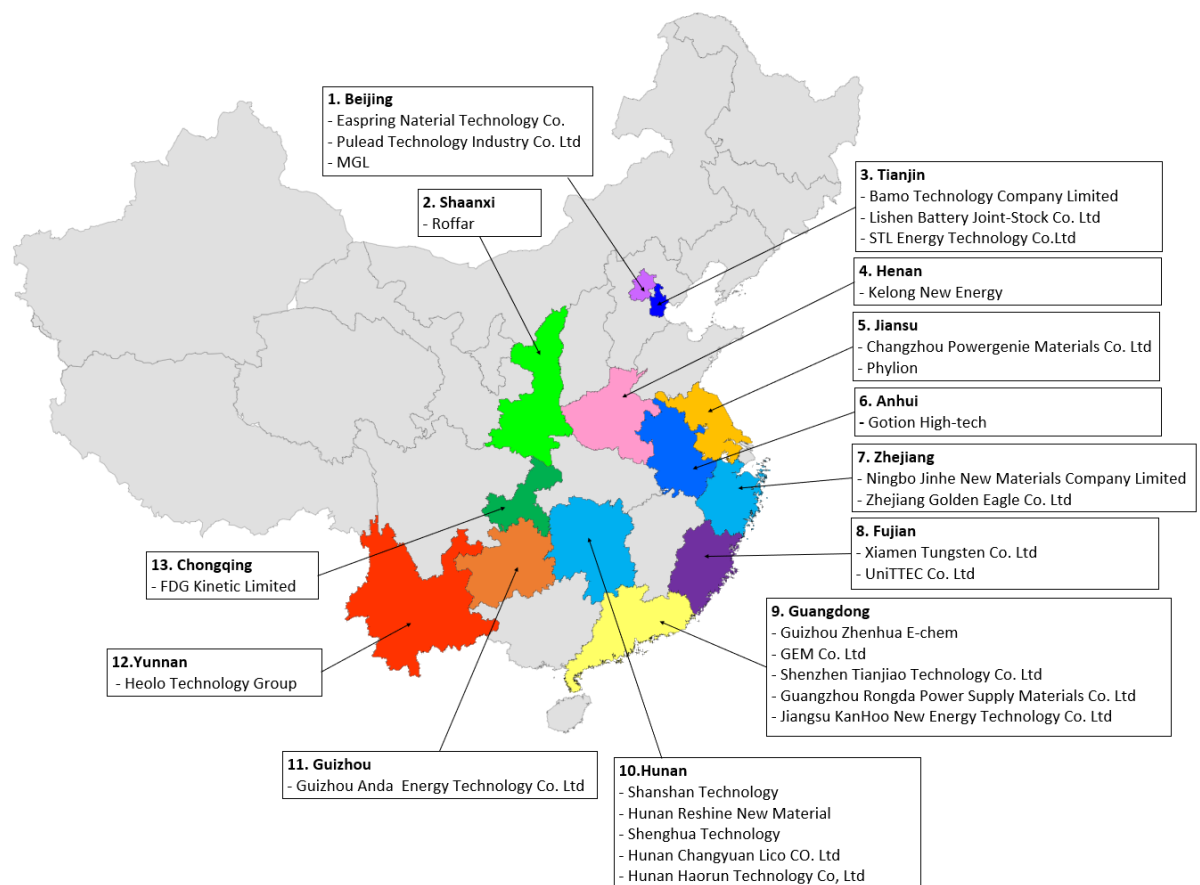
Japanissa CAM-materiaalituotanto keskittyy kolmikomponentteihin eli NCA- ja NMC-litiumioniakkuihin, koska ne on siellä katsottu markkinoiden parhaimmiksi litiumioniaakuiksi. Japanin elektroniikkateollisuus on yksi maailman suurimmista. Tärkeimmät CAM-materiaalin ostajat Japanissa ovat Sony, SDI, LG, AESC ja Panasonic, joista kaikki ovat suuria teknologiavalmistajia, joiden tuotteita myydään ympäri maailmaa. Japanissa toimivia CAM-materiaaleja tuottavia yrityksiä ja niiden tarjoamia tuotteita on esitetty taulukossa 1. [2; 20; 21, s. 2–21; 22; 23.]

Taulukko 1. Japanista löydettyjä CAM-materiaalien valmistajia. [2; 20–25.]

Yritys	Valtio	CAM	Elektrolyysi	Muut
AGC Seimi Chemical	Japani	x		
Kureha Corporation	Japani			x
Metal Mines (SMM)	Japani	x		
Mitsubishi Chemical Holdings Corporation	Japani	x		
Mitsui Mining & Smelting Co. Ltd.	Japani	x	x	
Nichia Corporation	Japani	x		
Nihon Kagaku Sangyo Co. Ltd	Japani	x		
Nitto Denko	Japani	x		
Nippon Denko	Japani	x		
Sumitomo Corporation	Japani	x		
Tanaka Chemical	Japani	x		
Toda Kogyo Corp.	Japani	x		x

5.2.1.2 Kiina

Kiinassa elektroniikkateollisuus on erittäin nopeasti kasvava teollisuudenala. Erityisesti akkuteollisuus ja teknologian kehittämien ovat siellä erittäin suuressa nousussa, niin kuin kaikkialla muuallakin maailmassa. Kiinassa tällä hetkellä panostetaan NCA-, NMC- ja NCM811-litiumioniakkujen valmistukseen, joten CAM-materiaalien kysyntä on myös kovassa kasvussa. Kiinassa tuottajat ovat rekisteröityneet maakunnittain, niin kuin kuvassa 14 on nähtävissä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että niillä ei olisi tuotantoa oman maakuntansa ulkopuolella. [2; 24, s. 33–42; 25, s. 29–32; 26.]



Kuva 14. Kiinan CAM-tuottajia maakunnittain. [2; 24; 25; 26.]

Kiinassa toimivia CAM-materiaaleja tuottavia yrityksiä ja niiden tarjoamia tuotteita on esitetty taulukossa 2. [2; 24, s. 33–42; 25, s. 29–32; 26.]

Taulukko 2. Kiinasta löydettyjä CAM-materiaalien valmistajia. [2; 23–26.]

Yritys	Valtio	CAM	Akut/ kennot
Bamo Technology Company Limited	Kiina	x	
Changzhou Powergenie Materials Co. Ltd	Kiina	x	
CITIC Guoan MGL	Kiina	x	x
Easpring	Kiina	x	
FDG Kinetic Limited	Kiina	x	
GEM Co. Ltd	Kiina	x	
Gotion High-tech	Kiina	x	
Guangzhou Rongda Power Supply Materials Co. Ltd	Kiina	x	
Guizhou Anda Energy Technology Co. Ltd	Kiina	x	
Guizhou Zhenhua E-chem	Kiina	x	
Heolo Technology Group	Kiina	x	
Hunan Changyuan Lico CO. Ltd	Kiina	x	
Hunan Haorun Technology Co. Ltd	Kiina	x	
Hunan Reshine New Material Co. Ltd	Kiina	x	
Jiangsu KanHoo New Energy Technology Co. Ltd	Kiina	x	
Kelong New Energy	Kiina	x	
Lishen Battery Joint-Stock Co. Ltd	Kiina	x	
MGL	Kiina	x	
Ningbo Jinhe New Materials Company Limited	Kiina	x	
Ningo Shanshan Co. Ltd	Kiina	x	x
Phyllion	Kiina	x	
Pulead Technology Industry Co. Ltd.	Kiina	x	
Roffar	Kiina	x	
Shenghua Technology	Kiina	x	
Shenzhen Tianjiao Technology Co. Ltd	Kiina	x	
STL Energy Technology Co. Ltd	Kiina	x	
TOB machine technology co.	Kiina	x	x
UniTTEC Co. Ltd	Kiina	x	
Xiamen Tungsten Co. Ltd	Kiina	x	
Zhejiang Golden Eagle Co. Ltd	Kiina	x	

5.2.1.3 Etelä-Korea

Etelä-Koreasta löytyy melko paljon CAM-materiaalien valmistajia. Etelä-Koreassa on monia tunnettuja elektroniikka-alan yrityksiä, kuten Samsung ja LG, jotka tarvitsevat CAM-materiaaleja tuotteidensa valmistukseen. Etelä-Koreassa muutamien CAM-materiaalien valmistajat ovat erittäin globaalisti tunnettuja, kuten esimerkiksi L&F Co. Ltd. Jotkin eteläkorealaiset CAM-materiaalien valmistajat ovat jo tunnettuja entuudestaan maailmalla muilta teknologia-aloilta. Esimerkiksi Samsungilla ja LG:llä on omat tytäryhtiönsä CAM-materiaalien tuotantoalalla. Etelä-Koreassa toimivia CAM-materiaaleja tuottavia yrityksiä ja niiden tarjoamia tuotteita on esitetty taulukossa 3. [2; 24, s. 29–33; 25, s. 10–15; 26.]

Taulukko 3. Koreasta löydettyjä CAM-materiaalien valmistajia. [2; 23–26.]

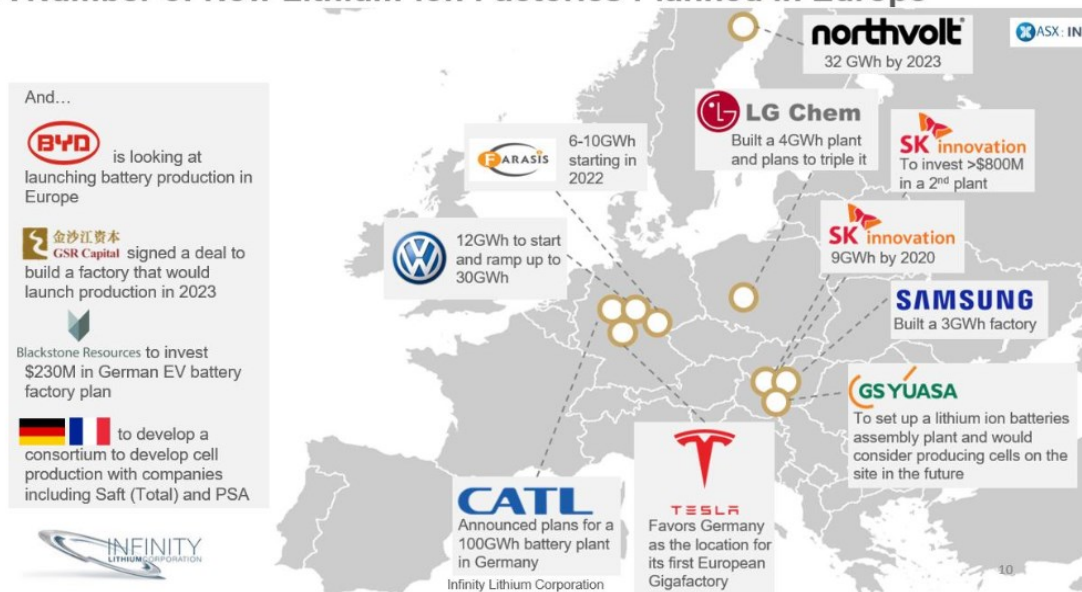
Yritys	Valtio	pCAM	CAM	Akut/ kennot
ECOPro BM	Etelä-Korea	x	x	
L&F Co. Ltd	Etelä-Korea		x	x
LG Chem	Etelä-Korea		x	x
Samsung SDI	Etelä-Korea		x	
Posco Co. Ltd	Etelä-Korea		x	

5.2.2 Eurooppa

Akkujen ja niissä käytettävien materiaalien kysyntä on kasvanut lähivuosina, ja kasvun oletetaan jatkuvan edelleen. Tämän takia Euroopassa halutaan kehittää ja valmistaa pitkäkestoisia ja turvallisia akkuja. Akkuteollisuuden yritysten määrä on lisääntynyt myös Euroopassa, vaikka lisääntymisvauhti on hitaampaa Aasiaan verrattuna.

Euroopassa kasvuvauhti selittyy osittain Euroopan unionin (EU) kunnianhimoisella tavoitteella saada 30 miljoonaa sähköautoa teilleen vuoteen 2030 mennessä. Sähköautojen kysyntä on lisääntynyt niin Euroopassa kuin muuallakin maailmassa. Näyttää siltä, että muutkin maat yrittävät lisätä sähköautojen määrää ja sitä mukaa vähentää polttomoottoreilla toimivien ajoneuvojen määrää. Tämä johtuu siitä, että tieliikenne on monissa maissa yksi suurimmista hiilidioksidipäästöjen aiheuttajista. Laskelmien mukaan jopa 21 % EU:n hiilidioksidipäästöistä aiheutuu tieliikenteestä. Näistä syistä johtuen Euroopan alueella halutaan lisätä akkujen ja niihin tarvittavien materiaalin valmistusta ja tuotantoa. EU on määritellyt akut yhdeksi strategiseksi arvoketjuksi, jossa Euroopan asemaa halutaan vahvistaa. Ympäri Eurooppaa on suunnitteilla niin isojen kuin pienempienkin yritysten akkutehtaita, kuten kuvassa 15 on nähtävissä. Näistä merkittävämpiä ovat Teslan ensimmäinen Euroopassa sijaitseva tehdas Saksaan, Northvoltin 32 GWh:n tehdas Ruotsiin ja CATL:in 100 GWh:n tehdas Saksaan. [27; 28, s. 12–25; 29, s. 24–29.]

A Number of New Lithium-ion Factories Planned in Europe



Kuva 15. Eurooppaan suunniteltavia litiumioniakkutehtaita. [27.]

Euroopassa suurimmat CAM-materiaalien toimittajat ovat BASF ja Umicore, joilla on tehtaita myös muissa maanosissa, eikä pelkästään Euroopassa. BASF aikoo rakentaa uusia katodiaktiivimateriaalilaitoksia Suomeen Harjavaltaan myös Umicore rakentaa uutta laitosta Puolaan. Eli Euroopassa ollaan tällä hetkellä lisäämässä CAM-materiaalien tuotantoa, jotta EU:n kunnianhimoiset ilmastotavoitteet voitaisiin saavuttaa. Euroopassa toimivia CAM-materiaaleja tuottavia yrityksiä ja niiden tarjoamia tuotteita on esitetty taulukossa 4. [27; 29, s. 24–29; 31, s. 10–16.]

Taulukko 4. Euroopasta löydettyjä CAM-materiaalien valmistajia. [2; 23; 24; 25; 27; 28; 29.]

Yritys	Valtio	pCAM	CAM	Elektrolyysi	Akut/ kennot
Umicore N.V.	Belgia		x		
Saft	Ranska		x		x
BASF SE	Saksa	x	x	x	
Finnish Battery Chemicals Oy	Suomi	x	x		
Haldor Topsoe	Tanska		x		
Johnson Matthey plc	Yhdistynyt kuningaskunta		x		x

5.2.2.1 Suomi

Vaikka tällä hetkellä suurin osa akkuteollisuuden tuotannosta on Aasiassa, niin Eurooppa on myös lisäämässä akkuteknologian tuotantoa vahvasti omilla alueillaan. Myös Suomessa muutaman vuoden aikana akkuteollisuuslaitokset ovat lisääntyneet. Suomen maaperästä löytyy nimittäin kaikki tarvittavat mineraalit litiumioniakkujen raaka-aineiden valmistukseen, nämä mineraalit ovat nikkeli, litium, grafiitti ja koboltti. Suomesta löytyy myös vahvaa osaamista koko akkuarvoketjussa: kaivosteollisuus, akkujen raaka-aineiden jatkojalostus, akkujen valmistamiseen ja käyttöön liittyvät teknologiat ja palvelut sekä latausteknologiat ja kierrätys. Kuvassa 16 esitetään Suomessa jo olevia akku- ja kaivosteollisuuden yrityksiä. Näiden lisäksi Suomeen ollaan myös suunnittelemassa jatkuvasti lisää eri teollisuudenalojen tuotantoa. Suomella on kaikki edellytykset merkittävän akkuteollisuusketjun luomiseen, jonka avulla Suomi voi nousta maailmanmarkkinoille akkuteollisuusosalalla. [30;31.]

Monet suuret yritykset kuten BASF ja Umicore aikovat rakentaa uusia pCAM- ja CAM-tuotantolaitoksia ja uusia tehtaita on nousemassa myös Suomeen. Esimerkiksi BASF on rakentamassa uutta katodiaktiivimateriaalituotantolaitosta Harjavaltaan. Myös Finnish Battery Chemicals Oy on rakentamassa uusia pCAM- ja CAM-tuotantolaitoksia Suomeen. Finnish Battery Chemicals Oy:n hankkeen YVA-menettelyt (ympäristövaikutusten arviointimenettely) ovat tällä hetkellä käynnissä ja niiden oletetaan valmistuvat vuoden 2021 keväällä. YVA-menettelyissä harkinnassa olevia vaihtoehtoja on kolme ja ne on lueteltu alla. [31, s. 10–16; 32, s. 3.]

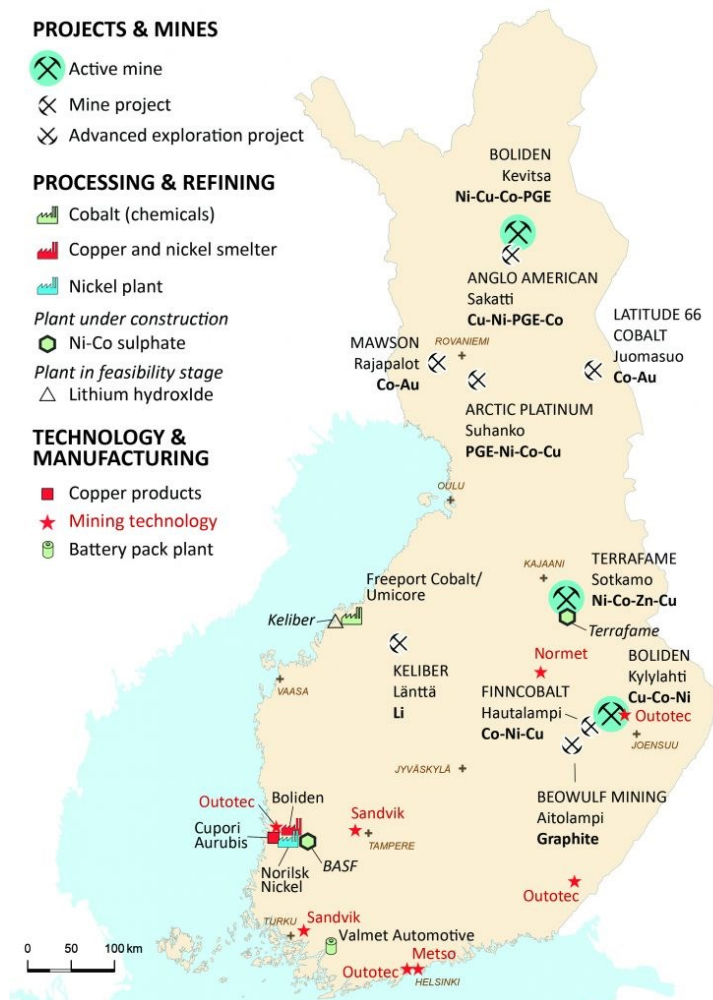
Vaihtoehdossa VE1 tarkastellaan pCAM- ja CAM-tehtaiden sijoittumista Kotkan Keltakallioon. [32, s. 3.]

Vaihtoehdossa VE2 tarkastellaan pCAM-tehtaan sijoittumista Haminan Hillonkylään ja CAM-tehtaan sijoittumista Kotkan Keltakallioon. [32, s. 3.]

Vaihtoehdossa VE0 hanketta ei toteuteta. [32, s. 3.]

Finnish Battery Chemicals Oy on Suomen Malminjalostus Oy:n sataprosenttisessa omistuksessa oleva projektiyhtiö. Suomen Malminjalostus Oy puolestaan on Suomen valtion kokonaan omistama erityistehtäväyryitys, jonka tarkoituksena on ”kotimaisten mineraalien arvon vastuullinen maksimointi”. Myös Suomessa on huomattu akkuteollisuusalan kas-

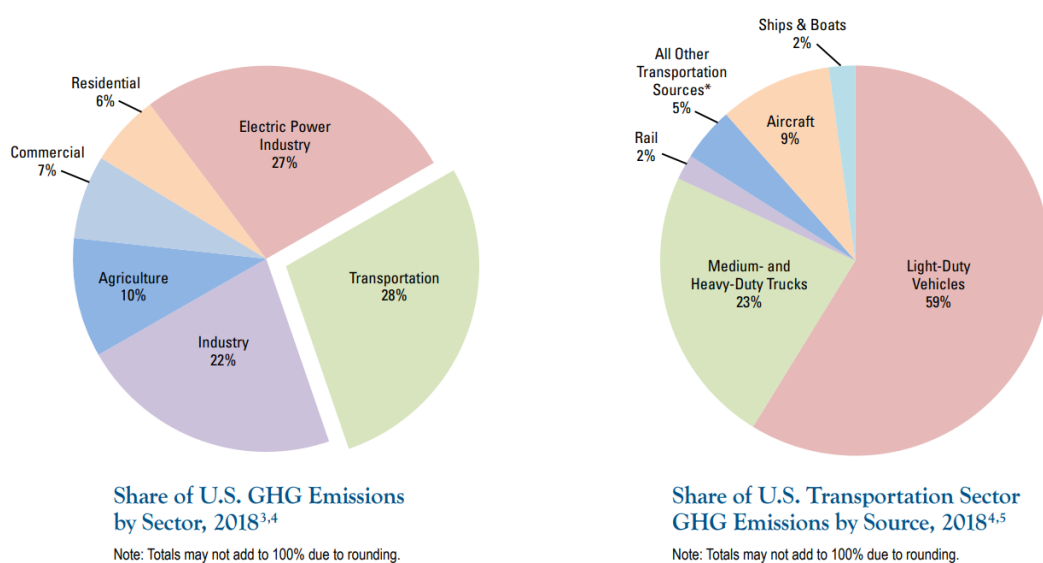
vun mahdollisuus ja tämä yritys onkin yksi Suomen valtion toimista tehostaa omaa akkujen tuotantokapasiteettiaan. Yritys omistaa monia kaivos- ja akkualan yrityksiä. Se on myös aktiivinen teknologian kehittäjä ja sähköautojen akkuteknologian arvoketjun rakentaja. Suomi pyrkii vastaamaan akkujen jatkuvasti kasvavaan kysyntään ja näin myös parantamaan kotimaista kaivostuotantoa ja teollisuutta, kuten myös laajemmassa mittakaavassa taloutta.



Kuva 16. Eri raaka-aineiden prosessoijia, kemianteollisuuden tuotantolaitoksia ja kaivosteknologiayrityksen toimipisteitä sekä tutkimuskeskuksia Suomessa. [33.]

5.2.3 Pohjois- ja Etelä-Amerikka

Myös Amerikan mantereella akkuteollisuus on kasvussa ja tämäkin on todennäköisesti vahvasti kytköksissä suuriin hiilidioksidipäästöihin, joita muun muassa tieliikenne aiheuttaa. Kuten kuvassa 17 esitetään, Yhdysvalloissa liikenne aiheuttaa jopa 28 % maan hiilidioksidipäästöistä. Tästä jopa 59 % aiheutuu kevyestä tieliikenteestä ja 28 % keski- ja raskaasta tieliikenteestä. Kun taas kaikki muu liikenne esimerkiksi lento- ja laivaliikenne aiheuttavat yhteensä vain 18 % liikenteen aiheuttamista päästöistä. [34, s. 1.]



Kuva 17. Yhdysvaltojen kasvihuonekaasupäästöt vuodelta 2018. [34, s. 1.]

Amerikassa CAM-materiaalien tuottajille on hyvät markkinat, sillä mantereella ja erityisesti sen pohjoispuolella sijaitsee suurten akkuja tarvitsevien yritysten tehtaita, kuten esimerkiksi Tesla. Amerikan puolella tunnetuimmat yritykset CAM-materiaalien valmistuksessa ovat 3M Company ja Dow Chemical Company. Myös Kanadan puolella on muutamia CAM-materiaalien tuottajia esimerkiksi Targray ja Valence. Mitkään Amerikassa olevat yritykset eivät tuota pCAM:ia vaan ainoastaan CAM:ia. Pohjois-Amerikassa toimivia CAM-materiaaleja tuottavia yrityksiä ja niiden tarjoamia tuotteita on esitetty taulukossa 5. [2; 23; 24; 25.]

Etelä- ja Keski-Amerikasta ei löytynyt tietoja CAM-materiaaleja tuottavista yrityksistä. Tämä ei kuitenkaan sulje pois niiden olemassaoloa, mutta tietoa ei vain ole saatavilla ainakaan englannin, kiinan tai suomen kielillä.

Taulukko 5. Amerikasta löydettyjä CAM-materiaalien valmistajia. [2; 23; 24; 25.]

Yritys	Valtio	CAM	Elektrolyysi	Akut/ kennot
Nano One Materials Corp.	Kanada	x		
Targray	Kanada	x	x	x
Valence	Kanada	x		
3M Company	Yhdysvallat	x	x	
Dow Chemical Company	Yhdysvallat	x		
NEI Corporation	Yhdysvallat	x	x	x
Phostech	Yhdysvallat	x		

5.3 Laite- ja teknologiavalmistajat

Suurin osa yrityksistä tuottaa joko pCAM- tai CAM-materiaaleja tai molempia. Jotkut akkuvalmistajat valmistavat myös itse CAM-materiaalinsa. Toiset yritykset taas valmistavat vain CAM-materiaaleja ja myyvät niitä eteenpäin akkujen valmistajille. On myös yrityksiä, jotka valmistavat vain näissä prosesseissa tarvittavia laitteita ja myyvät niitä CAM-materiaaleja valmistaville yrityksille. Samoin on yrityksiä, jotka tarjoavat teknologian, tiedon ja taidon prosessin suorittamiseen. Laitetarjoajat myyvät vain prosessien erivaiheisiin tarvittavat laitteet eli esimerkiksi erilaiset suodattimet ja uunit. Teknologiantarjoajat taas tarjoavat koko prosessiteknologian, esimerkiksi koko pCAM-prosessin suorittamiseen vaadittavan teknologian ja tietotaidon. Eli ne eivät vain yksinomaan myy laitteistoa tätä prosessia varten. Löydettyjä laite- ja teknologiavalmistajia ja niiden tarjoamia tuotteita on esitetty taulukossa 6. [2; 20; 21, s. 21; 22; 23; 27; 28, s. 12–25; 29, s. 24.]

Taulukko 6. Löydettyjä laite- ja teknologiavalmistajat. [2; 20–23; 27; 28; 29.]

Yritys	Valtio	pCAM	CAM	Laite valmistaja	Teknologia
Outotec	Suomi			x	x
BASF	Saksa	x	x		x
Tsukishima Kikai	Japani				x
Tanaka Chemical	Japani		x		x
Hoshokawa Micron corp.	Japani			x	
Harper International	Yhdysvallat			x	

Tällä hetkellä tiedossa olevia teknologiantarjoajia ovat suomalainen Outotec, saksalainen BASF sekä japanilaiset Tsukishima Kikai (TSK) ja Tanaka Chemical corp. Löydettyjä laitetarjoajia ovat Harper International ja japanilainen Hoshokawa Micron corp.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Akkujen käyttö ja kehitys ovat erittäin suuressa kasvussa ympäri maailmaa, sillä akut ovat erittäin tehokas tapa varastoida energiaa myöhempää käyttöä varten. Akut ovat myös ilmastoystävällisempi energian käyttötapa verrattuna erilaisiin polttoaineisiin. Tie liikenteen ollessa melko suuri saastuttaja, EU:n alueella 21 % ja Yhdysvalloissa 23 % hiilidioksidipäästöistä, on sähköautojen kysyntä kasvanut niin Euroopassa, Amerikassa kuin Aasiassakin. Erityisesti litiumioniakkujen kehitys ja käyttö on jatkuvasti lisääntynyt, vaikka edelleen lyijyakut ovat myös melko laajassa käytössä. Litiumioniakkujen käyttöosuus on kasvanut, sillä ne tarjoavat kevyemmän, kestävämmän ja tehokkaamman ratkaisun verrattuna muihin perinteisiin akkutyyppeihin.

Kartoituksessa tuli selville, että Kiinassa, Japanissa ja Etelä-Koreassa tuotetaan suurimaksi osaksi valmista CAM-materiaalia ja pCAM-tuottajia löytyi erittäin vähän. Tämä johtuu joko siitä, että pCAM-tuotantoprosessi on tarkemmin salassa pidetty, jolloin siitä ei kerrota ulkopuolelle paljoakaan tai pelkän pCAMin tuottajia on vain vähemmän. Euroopasta löytyy sekä pCAM-, että CAM-tuottajia, mutta tuottajia ei yhteensä ole niin paljon kuin Aasian maissa. Tosin Euroopassa olevat yritykset ovat taas erittäin suuria ja maailmalla tunnettuja. EU:n komission tavoite saada 30 miljoonaa sähköautoa teilleen 2030 mennessä on myös vauhdittanut Euroopan akkumateriaalien- ja akkujen tuotantoa ja kehitystä. Akkuteollisuus ja CAM-materiaalien tuotanto ovat erittäin nopeasti kasvava teollisuudenala koko maailmassa ja tällä hetkellä suurin kasvuvauhti on Aasiassa, mutta Eurooppa ei ole kovinkaan paljon jäljessä. Euroopan hieman hitaampaan kasvuvauhtiin vaikuttaa todennäköisesti se, että EU ei ole yksi valtio vaan yksittäisten valtioiden liittoutuma. Joten valtioiden ja yksityisten yritysten väliset sopimukset ja suunnitelmat ovat vaikeampia ja hitaampia toteuttaa kuin esimerkiksi Kiinassa. Kiina on nimittäin suuri yhtenäinen valtio ja jotkin akkuteollisuuden yritykset ovat valtio-omisteisia, jolloin tuki ja rahoitus ovat turvattuja.

Kartoituksessa löydettiin myös laite- ja teknologiavalmistajia. Laitevalmistajat tarjoavat prosesseissa tarvittavat laitteet ja tarvikkeet, esimerkiksi uunit ja säiliöt. Teknologiavalmistajat taas tarjoavat koko- tai osaprosessiteknologian ja tietotaidon prosessin suorittamiseen. Laite- ja teknologiavalmistajia löydettiin yhteensä kuusi ympäri maailmaan. Niitä on kuitenkin todennäköisesti enemmän, mutta tiedonkeruu osoittautui erityisen vaikeaksi

tällä osa-alueella. Valmistajat eivät verkkosivuillaan aina kerro yksityiskohtaisia tietoja tarjoamistaan palveluista tai tuotteista, tiedot olisivat kenties saatavilla yritysten edustajille ja potentiaalisille asiakkaille.

Yritykset kertovat melko avoimesti tehtaissa valmistamistaan tuotteista kuten, esimerkiksi pCAM, CAM ja tietyt muut akkuihin tarvittavat osat kuten kennot. Toisaalta ne ovat erittäin tarkkoja siitä, mitä kertovat käyttämästään teknologiasta ja laitteista, sillä ne luokitellaan liikesalaisuuksiksi. Erityisesti tulevista hankkeista ja suunnitteilla tai rakenteilla olevista tuotantolaitoksista on saatavilla melko vähänlaisesti tietoa. Tietoa etsittäessä tuli ilmi myös, että eurooppalaiset, japanilaiset, eteläkorealaiset ja kiinalaiset yritykset olivat avoimimpia tarjoamistaan tuotteista ja palveluista verkkosivuillaan. Kun taas esimerkiksi yhdysvaltalaiset ja kanadalaiset yritykset kertoivat verkkosivuillaan erittäin vähän tietoa itsestään tai tuotteistaan ja palveluistaan. Samoin Venäjän, Etelä-Amerikan ja Etelä-Aasian puolella toimivista yrityksistä oli erittäin vähän saatavilla tietoa. Tosin tähän myös varmasti kielimuurilla on erittäin suuri vaikutus. Eli mikäli tietoa olisi haettu esimerkiksi Venäjän verkosta venäjän kielellä, niin tietoa olisi todennäköisesti ollut saatavilla enemmän. Sama pätee suurella todennäköisyydellä myös muihin maihin, joista tietoa ei juurikaan löytynyt, esimerkiksi Brasilia, Meksiko, Intia ja Lähi-idän valtiot.

Lähteet

- 1 Three battery technologies that could power the future. Verkkoaineisto. Saft. <<https://www.saftbatteries.com/media-resources/our-stories/three-battery-technologies-could-power-future>>. Luettu 8.12.2020.
- 2 Overview of Global Cathode Material Companies. Verkkoaineisto. Xueqiu. <<https://xueqiu.com/9231373161/139244630>>. Luettu 8.12.2020.
- 3 Akku toimintaperiaate. Verkkoaineisto. TKK. <<https://www.netlab.tkk.fi/opus/s38118/s98/htyo/34/rakenne.shtml>>. Luettu 5.1.2021.
- 4 Learn About Batteries – Contens. Verkkoaineisto. Battery university. <<https://batteryuniversity.com/learn/>>. Luettu 1.3.2021.
- 5 Heikkilä, Perttu. 2015. Ajoneuvo litiumioni akkupaketin käyttöönotto. Diplomityö Aalto-yliopisto Sähkötekniikan korkeakoulu. Aalto-doc-tietokanta. Luettu 1.3.2021.
- 6 Valio, Johanna. 2019. Akkuekosysteemi – Nykytilaselvitys. Verkkoaineisto. Pirkanmaan liitto. Sitra. <<https://media.sitra.fi/2018/06/17112857/tulevaisuuden-akkuekosysteemi-nykytilaselvitys-2.0-10.06.2019.pdf>>. Luettu 9.1.2021.
- 7 Kauppinen, Toni. 2010. Litium-ioniakkukemikaalien kierrätys. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. Luettu 10.1.2021.
- 8 Rukundo, Roger. 2017. Litiumakkujen lataus, purku ja lämpötilakäyttäytyminen. Opinnäytetyö. Turku ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. Luettu 5.11.2020.
- 9 Jouppi, Esko. 2019. Akkujärjestelmien turvallisuus. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. Luettu 9.1.2021.
- 10 Kasurinen, Henri. 2018. Litiumioniakut ja niiden soveltaminen kapasitanssimittarissa NCM-20. Kandidaatintyö. Tampereen teknillinen yliopisto. Trepo-tietokanta. Luettu 13.1.2021.
- 11 Li-ion battery cathode manufacture in Australia. Verkkoaineisto. Future battery industries CRS. <<https://fbicrc.com.au/wp-content/uploads/2020/07/Li-ion-Battery-Cathode-Manufacturing-in-Aust-1.pdf>>. Luettu 23.12.2020.
- 12 Cathode Materials. Verkkoaineisto. Targray. <<https://www.targray.com/li-ion-battery/cathode-materials>>. Luettu 17.11.2020.

- 13 Akkumateriaalituotannon YVA-ohjelma. Finnish Battery Chemicals Oy. <<https://www.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=8c1d4062fa664e03b61c6987c84d1499>>. Luettu 10.10.2020.
- 14 Cathode precursors. Verkkoaineisto. Malvern Panalytical. <<https://www.malvernpanalytical.com/en/industries/battery-and-energy-storage/batteries-and-capacitors/cathode-precursors>>. Luettu 2.11.2020.
- 15 Monitor and Optimize Battery Quality and Technology. Artikkel. AZO materials. <<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=19112>>. Luettu 22.12.2020.
- 16 FOTW #1099, Australia, Chile, and Argentina produced 91 % of the World's Lithium. 2019. Artikkel. Energy Gov. <<https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1099-september-16-2019-2017-australia-chile-and-argentina-produced-91>>. Luettu 22.12.2020.
- 17 Global lithium-ion battery market to 2025: emergence of novel technologies to upgrade existing materials in Li-Ion batteries. 2019. Artikkel. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1351418019300078>>. Luettu 17.11.2020.
- 18 Nitta, Naoki; Wu, Feixiang; Lee, Jung Tae; Yushin, Gleb. 2015. Li-ion battery materials: present and future. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702114004118>>. Luettu 3.11.2020.
- 19 Yang, Yue; Xu, Shengming; He, Yinghe. 2017. Lithium recycling and cathode material regeneration from acid leach liquor of spent lithium-ion battery via facile co-extraction and coprecipitation processes. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X17301654>>. Luettu 4.12.2020.
- 20 Global battery materials market: Players focus on low cost, high performance products to steal a march over competitors. 2018. Artikkel. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1351418018300631>>. Luettu 22.12.2020.
- 21 Pillot, Christophe. 2019. The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2018–2030. Verkkoaineisto. Avicenne energy. <https://rechargebatteries.org/wp-content/uploads/2019/02/Keynote_2_AVICENNE_Christophe-Pillot.pdf>. Luettu 8.12.2020.
- 22 Battery metals. Verkkoaineisto. Metso: Outotec. <<https://www.outotec.com/products-and-services/commodities/battery-metals/technologies-for-producing-battery-chemicals-and-precursors/>>. Luettu 13.1.2021.

- 23 Lithium Batteries-AN Outlook and Summary. Verkkoaineisto. 2017. Core Consultants. <<https://www.coreconsultantsgroup.com/lithium-batteries-outlook-summary/>>. Luettu 13.2.2021.
- 24 Analysis of Global Cathode Material Competition Landscape. Verkkoaineisto. Essence securities. <http://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP201911041370282946_1.pdf>. Luettu 23.12.2020.
- 25 Report on lithium battery cathode materials. Verkkoaineisto. Caitong securities. <http://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP201907101338357815_1.pdf>. Luettu 23.12.2020.
- 26 Research on the Development Strategy of China's Lithium-ion Battery Industry in 2013. Verkkoaineisto. 2013. Itdcw. <<http://www.itdcw.com/m/view.php?aid=5337>>. Luettu 23.12.2020.
- 27 Hooper, Rodney. 2019. European Battery Plant Expansion And Their Implied Lithium Demands. Artikkele. Seeking Alpha. <<https://seekingalpha.com/article/4265367-european-battery-plant-expansion-and-implied-lithium-demands>>. Luettu 11.12.2020.
- 28 Lebedeva, Natalia; Di Persio, Franco; Boon-Brett, Lois. Verkkoaineisto. 2016. Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe. European Commission. <https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc105010_161214_li-ion_battery_value_chain_jrc105010.pdf>. Luettu 10.1.2021.
- 29 Tsiropoulos, I.; Tarvydas., D.; Lebedeva, N. 2018. Lithium-ion batteries for mobility and stationary storage applications. Verkkoaineisto. European Commission. <<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC113360/kjna29440enn.pdf>>. Luettu 11.12.2020.
- 30 Batteries from Finland. Verkkoaineisto. Business Finland. <<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/ohjelmat/batteries-from-finland>>. Luettu 15.1.2021.
- 31 Updated Definitive Feasibility Study Lithium hydroxide production. Verkkoaineisto. 2019. Keliber. <https://www.keliber.fi/site/assets/files/1864/updated_dfs_presentation_28022019.pdf>. Luettu 1.3.2021.
- 32 Akkumateriaalituotannon ympäristövaikutusten arviointiohjelman päivitys. Verkkoaineisto. 2020. Finnish Battery Chemiscals Oy. <<https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B833CA336-BDA8-462A-B8EA-F4E04C144FA0%7D/162547>>. Luettu 19.4.2021.

- 33 Dehaine, Quentin; P. Michaux, Simon; Pokki, Jussi; Kivinen, Mari; R. Butcher, Alan. Battery minerals from Finland: Improving the supply chain for the EU battery industry using a geometallurgical approach. Verkkoaineisto. The European Federation of Geologists. <<https://eurogeologists.eu/dehaine-battery-minerals-from-finland-improving-the-supply-chain-for-the-eu-battery-industry-using-a-geo-metallurgical-approach/>>. Luettu 11.12.2020.
- 34 U.S. Transportation Sector Greenhouse Gas Emissions 1990—2018. Verkkoaineisto. 2020. United States Environmental Protection Agency. <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100ZK4P.pdf>>. Luettu 11.12.2020.

Liite 1. Kaikki kartoituksessa löydetty pCAM- ja CAM-tuottajayritykset.

Yritys	Valtio	pCAM	CAM	Elektrolyysi	Akut/kennot	Muut
Nano One Materials Corp.	Kanada		x			
Targray	Kanada		x	x	x	
Valence	Kanada		x			
3M Company	Yhdysvallat		x	x		
Dow Chemical Company	Yhdysvallat		x			
NEI Corporation	Yhdysvallat		x	x	x	
Phostech	Yhdysvallat		x			
Umicore N.V.	Belgia		x			
Saft	Ranska		x		x	
BASF SE	Saksa	x	x	x		
Finnish Battery Chemicals Oy	Suomi	x	x			
Haldor Topsoe	Tanska		x			
Johnson Matthey plc	Yhdistynyt kuningaskunta		x		x	
ECOPro BM	Etelä-Korea	x	x			
L&F Co. Ltd	Etelä-Korea		x		x	
LG Chem	Etelä-Korea		x		x	
Samsung SDI	Etelä-Korea		x			
Posco Co., Ltd.	Etelä-Korea		x			
AGC Seimi Chemical	Japani		x			
Kureha Corporation	Japani		x			x
Metal Mines (SMM)	Japani		x			
Mitsubishi Chemical Holdings Corporation	Japani		x			
Mitsui Mining & Smelting Co. Ltd.	Japani		x	x		
Nichia Corporation	Japani		x			
Nihon Kagaku Sangyo Co. Ltd	Japani		x			
Nitto Denko	Japani		x			
Nippon Denko	Japani		x			
Sumitomo Corporation	Japani		x			
Tanaka Chemical	Japani		x			
Toda Kogyo Corp.	Japani		x			x
Bamo Technology Company Limited	Kiina		x			
Changzhou Powergenie Materials Co. Ltd	Kiina		x			
CITIC Guoan MGL	Kiina		x		x	
Easpring	Kiina		x			

 Amerikka

 Eurooppa

 Aasia

Yritys	Valtio					
		PCAM	CAM	Elektrolyysi	Akut/kemot	Muut
FDG Kinetic Limited	Kiina		x			
GEM Co. Ltd	Kiina		x			
Gotion High-tech	Kiina		x			
Guangzhou Rongda Power Supply Materials Co. Ltd	Kiina		x			
Guizhou Anda Energy Technology Co. Ltd	Kiina		x			
Guizhou Zhenhua E-chem	Kiina		x			
Heolo Technology Group	Kiina		x			
Hunan Changyuan Lico CO. Ltd	Kiina		x			
Hunan Haorun Technology Co, Ltd	Kiina		x			
Hunan Reshine New Material Co Ltd Ltd	Kiina		x			
Jiangsu KanHoo New Energy Technology Co. Ltd	Kiina		x			
Kelong New Energy	Kiina		x			
Lishen Battery Joint-Stock Co. Ltd	Kiina		x			
MGL	Kiina		x			
Ningbo Jinhe New Materials Company Limited	Kiina		x			
Ningo Shanshan Co., Ltd	Kiina		x		x	
Phylion	Kiina		x			
Pulead Technology Industry Co. Ltd.	Kiina		x			
Roffar	Kiina		x			
Shenghua Technology	Kiina		x			
Shenzhen Tianjiao Technology Co. Ltd	Kiina		x			
STL Energy Technology Co.Ltd	Kiina		x			
TOB machine technology co.	Kiina		x		x	
UniTTEC Co. Ltd	Kiina		x			
Xiamen Tungsten Co. Ltd	Kiina		x			
Zhejiang Golden Eagle Co. Ltd	Kiina		x			
Advanced Lithium Electrochemistry	Taiwan		x			