



Open your mind. LUT.

Lappeenranta University of Technology

Sähköajoneuvoihin soveltuvien litiumioniakkujen valmistuskapasiteetti
Manufacturing capacity of lithium ion batteries applicable for electric vehicles
Akseli Lahti

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Akseli Lahti

Sähköajoneuvoihin soveltuvien litiumioniakkujen valmistuskapasiteetti

2019

Kandidaatintyö.

30 sivua, 11 kuvaa, 5 taulukkoa

Tarkastaja: Tutkijaopettaja Lasse Laurila.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää sähköajoneuvoihin soveltuvien litiumioniakkujen nykytilannetta, valmistuskapasiteettia ja valmistuspaikkoja. Lisäksi työssä selvitetään tulevaisuudensuunnitelmia litiumioniakkujen valmistuskapasiteetin lisäämiseksi. Valmistuskapasiteettia tutkitaan sähköajoneuvoihin soveltuvien litiumioniakkukennojen- ja akkujärjestelmien osalta. Tutkimus on rajattu seuraaviin sähköajoneuvoihin: täyssähköautot, pistokehybridit, sähköbussit sekä ajettavat sähkökäyttöiset työkoneet, kuten sähkötrukit. Työssä selvitetään sähköajoneuvoihin soveltuvia yleisimpiä litiumioniakkutyyppejä, näihin tarvittavat raaka-aineet sekä kyseisten akkutyypin tyypilliset ominaisuudet. Erityisesti työssä kiinnitetään huomiota ominaisenergiaan, lataus- ja purkausvirtaan, lämpötilakestävyyteen sekä C-arvoon.

Raaka-aineselvityksessä keskityttiin katodi- ja anodimateriaaleihin. Selvityksen perusteella tarvittavista raaka-aineista, näiden tuotantopaikoista- ja määristä sekä käytössä olevista mineraalireserveistä sekä tutkituista resursseista tehtiin kartoitus, josta selviää raaka-aineiden sijainti suhteessa litiumioniakkujen valmistuspaikkoihin. Myös litiumioniakkukennojen valmistuskapasiteetista ja sen maantieteellisestä jakaantumisesta tehtiin maailman laajuinen kartoitus ja suurimpien tehtaiden valmistuskapasiteetteja listattiin valtioittain. Kartoituksen perusteella suurin osa keskeisistä litiumioniakkujen raaka-aineista sijaitsee sellaisissa maissa, joissa ei ole litiumioniakkujen tuotantoa tai tuotanto on suhteellisen vähäistä. Tämä johtaa siihen, että monet suuret litiumioniakkujen valmistajat ovat riippuvaisia raaka-aineiden tuonnista. Tulevaisuuden suunnitelmien perusteella eniten valmistuskapasiteettia lisätään Kiinassa, Yhdysvalloissa, Etelä-Koreassa ja Keski-Euroopassa. Tulevaisuuden suunnitelmien ja rakenteilla olevien tehtaiden perusteella uusien tehtaiden valmistuskapasiteetit keskimäärin kasvavat koko ajan.

Työssä käsitellään myös litiumioniakkujen hintaa, hinnankehitystä sekä tulevaisuuden hintaennusteita. Litiumioniakkujen hintakehitys 2010-luvulla on selkeä ja hinnat ovat laskeneet tällä vuosikymmenellä noin 82 %. Markkinatutkimusten perusteella hintojen lasku jatkuu tulevina vuosina, mutta se tulee olemaan maltillisempaa kuin aikaisemmin.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Akseli Lahti

Manufacturing capacity of lithium ion batteries applicable for electric vehicles

2019

Bachelor's Thesis.

30 pages, 11 pictures, 5 tables

Examiner: Associate professor Lasse Laurila.

The objective of this thesis is to figure out the current situation, manufacturing capacity and manufacturing locations of lithium-ion batteries suitable for electric vehicles. In addition, the future plans of the increasing lithium-ion batteries' manufacturing capacity are explained. The manufacturing capacity is examined for lithium-ion battery cells and battery systems suitable for electric vehicles. The research is limited to the following electric vehicles: full electric cars, plug-in hybrids, electric busses and drivable electric machines such as electric trucks. The thesis examines the most common types of lithium-ion batteries that are suitable for electric vehicles, the raw materials needed for them and the typical features of these types of batteries. Particular attention is paid to specific energy, charge and discharge current, temperature resistance and C-value.

The raw material statement focused on cathode and anode materials. Based on the study, the necessary raw materials, their production sites and quantities, as well as the mineral reserves in use and the resources investigated, were charted to determine the locations of the new raw materials relative to the production sites of lithium-ion batteries. A global inventory was also made of the production capacity and the geographical distribution of lithium-ion battery cells and the manufacturing capacity of the largest factories were listed by country. Based on the mapping, most of the main lithium-ion battery raw materials are located in countries, where there is relatively low or no lithium-ion battery production. This results in many massive manufacturers of lithium-ion batteries being dependent on the import of raw materials. According to future plans, the production capacity will be most increased in China, USA, South Korea and Central Europe. Based on future plans and factories under construction, the production of new factories will increase on average.

The price of lithium-ion batteries, price developments and future price forecasts are also processed. The price development of lithium-ion batteries in the 2010s is clear and prices have fallen by around 82 %. Market research shows that prices will continue to decrease in the coming years but will be more restrained than before.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	Johdanto	6
1.1	Tutkimuskysymykset	6
1.2	Menetelmät	6
2.	Akkutyypit	7
2.1	Litium-rauta-fosfaatti.....	7
2.2	Litium-titanaatti	8
2.3	Litium-mangaani-oksidi	8
2.4	Litium-nikkeli-mangaani-koboltti-oksidi	8
2.5	Litium-nikkeli-koboltti-alumiini-oksidi	9
3.	Litium-ioniakkukennojen sekä akkujärjestelmien valmistuspaikat ja kapasiteetit.....	10
3.1	Tuotantopaikat ja kapasiteetti	10
3.1.1	Kiinan tuotantopaikat	11
3.1.2	Japanin tuotantopaikat	13
3.1.3	Etelä-Korean tuotantopaikat	13
3.1.4	USA:n tuotantopaikat	13
3.1.5	Euroopan tuotantopaikat	14
3.1.6	Tuotanto Suomessa	15
3.2	Autotehtaiden omat akkutehtaat	15
3.3	Tulevaisuuden suunnitelmat	15
4.	Litium-ioniakkuihin tarvittavien raaka-aineiden tuotantopaikat	17
4.1.1	Litiumin tuotantopaikat	17
4.1.2	Nikkelin tuotantopaikat	19
4.1.3	Koboltin tuotantopaikat	19
4.1.4	Grafiitin tuotantopaikat.....	21
4.1.5	Mangaanin tuotantopaikat	21
4.2	Suunnitteilla olevat raaka-aineiden tuotantopaikat.....	22
4.3	Hintakehitys	22
5.	Johtopäätökset	25
6.	Yhteenveto.....	26
	Lähteet	27

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

EV	Electric vehicle, täyssähköajoneuvo
PHEV	Plug-in electric vehicle, pistokehybridi
LFP	Lithium iron phosphate battery, litium-rauta-fosfaattiakku
LTO	Lithium-titanate battery, litium-titanaattiakku
NCA	Lithium nickel cobalt aluminum oxide battery, litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidiakku
LMO	Lithium manganese oxide battery, litium-mangaani-oksidiakku
NCM	Lithium nickel manganese cobalt oxide, litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidiakku
BMS	Battery management system, akkujen hallintajärjestelmä

1. JOHDANTO

Sähköajoneuvojen yleistymistä hidastaa ja rajoittaa akuston tuomat haasteet. Näistä kaksi oleellisinta ovat akuston hinta ja akuston mahdollistama ajomatka. Sähkökäyttöisten autojen ajomatka yhdellä latauksella jää parhaimmillaankin alle 50 %:n polttomoottoriajoneuvojen ajomatkasta yhdellä tankkauksella. Massatuotannossa uudehkojen litium-ioniakkutyypin, kuten litiumrauta-fosfaatin ja litiumtitanaatin avulla sähköajoneuvon akuston varauskapasiteetti sekä samalla ajomatka yhdellä latauksella kasvavat kilpailukykyisiksi. Tämän jälkeen sähköajoneuvojen yleistymistä ja kilpailukykyä ohjaaviksi tekijöiksi jää kyseisten laitteiden akkujen valmistuskapasiteetti sekä hintakehitys.

1.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoite on selvittää litium-ioniakkujen tämän hetkinen valmistuskapasiteetti sekä vireillä olevat suunnitelmat valmistuskapasiteetin kasvattamiseksi. Tutkimuksessa keskitytään vain sähköajoneuvoihin soveltuviin litium-ioniakkuihin. Tutkimuskysymyksiä ovat: Mikä on tämän hetkinen valmistuskapasiteetti? Mitä suunnitelmia valmistajilla on valmistuskapasiteetin kasvattamiseksi? Tämän hetkinen hinta ja sen kehitys? Millaisia ovat uusimmat akkukennot ja -moduulit? Tekniikan kehitys sekä käytetyt akkutyypit? Aihe rajataan täyssähköautoihin, hybrideihin, linja-autoihin ja liikkuviin työkoneisiin. Työssä tehtiin maailmanlaajuinen selvitys sekä piirrettiin kartta, johon on merkitty valmistuspaikat ja kapasiteetit. Lisäksi työ sisältää selvityksen raaka-aineiden hankintapaikoista sekä autotehtaiden omista akkutehtaista.

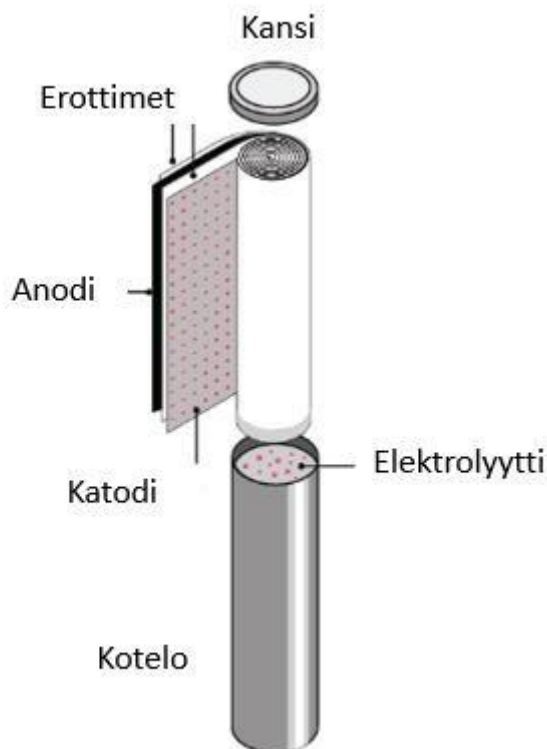
1.2 Menetelmät

Työn menetelminä toimivat kirjallisuustutkimus ja haastattelut. Kirjallisuustutkimuksella etsittiin tietoa litiumioniakkujen valmistuspaikoista, valmistuskapasiteeteista, hinnoista, varauskapasiteeteista, akkujen C-arvoista sekä raaka-aineiden hankintapaikoista. Lähteinä on tieteellisten lähteiden kuten IEEE:n lisäksi käytetty teknologian kehitystä seuraavien verkkojulkaisujen uutisia ja artikkeleita sekä laitevalmistajien verkkosivuja ja näiltä löytyviä akkujen datalehtiä. Edellä mainittujen lähteiden kohdalla luotettavuuden arviointi on tärkeää, mutta kyseisten lähteiden käyttö on työn kannalta välttämätöntä. Tulevaisuuden suunnitelmia, kuten valmistuskapasiteettien kasvattamissuunnitelmia kartoitettiin julkisuuteen vuotaneiden tietojen avulla.

2. AKKUTYYPIT

Akun rakenteelle ja ominaisuuksille on oleellista anodi- ja katodimateriaalit. Kuvassa 2.1 on esitetty tyypillisen sylinterin muotoisen litium-ioniakkukennon rakenne pääpiirteittäin. Suurin osa tällä hetkellä käytössä olevista sekä valmistettavista litium-ioniakuista sisältää grafiittianodin. Kilpailukykyisin vaihtoehto grafiittianodiselle litium-ioniakkukennolle on titanaattianodi $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO). (Helbig 2018)

Tässä luvussa vertaillaan erilaisten litium-ioniakkukennojen nimellisjännitettä, ominaisenergiaa, elinkaaren pituutta sekä lataus- ja purkausvirtaa akkutyypittäin.



Kuva 2.1. Tyypillisen sylinterin muotoisen litium-ioniakkukennon rakenne. (Shankleman 2017)

2.1 Litium-rauta-fosfaatti

Litium-rauta-fosfaattiakkukkenno koostuu LiFePO_4 katodista ja grafiittianodista. Lyhenteenä käytetään nimitystä LFP. Kyseiselle akkutyypille tyypillinen nimellisjännite on 3,3 V. Ominaisenergia on keskimäärin 90-120 Wh/kg. Akkutyypin C-arvo ladattaessa on 1 C ja purkautuessa 1 C, mutta joillain LFP-akuilla lyhyen 2 s:n pituisen purkauspulssin C-arvo voi olla jopa 25 C. Tyypillinen elinkaari on 1000-2000 lataus-purkaus -sykliä. Litium-rauta-fosfaatin etuina ovat korkeat lataus- ja purkausvirrat, hyvä lämpökestävyys sekä suhteellisen pitkä elinkaari. (Battery University 2017)

Ainoa Suomessa teollisesti valmistettava akkukkenno on European Battery Technologies Oy:n Varkaudessa valmistama LiFePO_4 materiaalista valmistettu akkukkenno. Yhden kennon nimellinen kapasiteetti 0,2 C:n virralla on 45 Ah, ja keskimääräinen toimintajännite on 3,2 V. Akkukennon ominaisenergia on 146 Wh/kg. Suositeltu purkausvirta on 45 A, mutta kenno kestää tarvittaessa jopa 135 A:n jatkuvan purkausvirran. Suositeltu latausvirta on 22,5

A ja suurin mahdollinen latausvirta 45 A. Suurin sallittu purkausvirta 10 s:n pulssille on 210 A ja vastaavasti pulssina tapahtuva latausvirta voi olla enintään 135 A. (European Batteries 2018)

Suosittelut lämpötilat edellä mainitulle akkukennolle ovat ladattaessa 0 °C – 45 °C, purkautuessa -30 °C – 45 °C ja varattuna -30 °C – 45 °C. Tyypillisissä ajoneuvo- tai työkonikäytöissä Suomen olosuhteissa latauslämpötila voi olla vähemmän kuin suositeltu 0 °C, jolloin myöskään akkukennon suorituskyky ei ole optimaalinen ja se saattaa jopa vaurioitua. Kylmin mahdollinen latauslämpötila kennolle voi olla -10 °C.

2.2 Litium-titanaatti

Litium-titanaattiakulla on $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ anodi ja siinä voi olla joko LMO- tai NMC katodi. Litium-titanaattiakusta käytetään lyhennettä LTO. Sen nimellijännite on 2,40 V ja toimintajännite on tyypillisesti 1,8-2,85 V kennoa kohti. Ominaisenergia on tyypillisesti matala muihin litium-ioniakkutyyppeihin verrattuna, vain 50-80 Wh/kg. Ladattaessa C-arvo on tyypillisesti 1 C, mutta akkutyypin kykenee maksimissaan 7 C:n. Purkautuessa 10 C arvo on mahdollinen ja 5 s:n pulssille jopa 30 C. Elinkaari on pitkä verrattuna muihin akkutyyppeihin, noin 3000-7000 lataus-purkaus -jaksoa riippuen ympäristön lämpötilasta ja purkautumisasteesta. Akun etuina ovat pitkä elinkaari sekä korkean C-arvon mahdollistama nopea pikalataus. Akku myös kestää hyvin erilaisia käyttölämpötiloja ja se on muihin akkutyyppeihin verrattuna turvallinen. Sen heikkoutena on matala ominaisenergia ja edelleen suhteellisen korkea hinta €/kWh. Akkutyypin on käytetty jo useissa sarjavalmisteisissa sähköautoissa ja sen ennustetaan yleistyvän tulevaisuudessa. (Battery University 2017)

Altairnanon kehittämä 70 Ah:n litium-titanaattiakkukkenno hyödyntää nanotekniikkaa. Akkukennon ominaisenergia on 82 Wh/kg 1 C:n purkausvirralla. Akkukennon maksimi C-arvo jatkuvassa latauksessa on noin 7 C, joka tyypillistä huomattavasti parempi. Myös jatkuvassa purkautumisessa C-arvo on maksimissaan noin 7 C ja 10 sekunnin purkaus pulssille noin 12,9 C. Akkukennon toimintalämpötila on -50°C–60°C. (Altairnano 2018)

2.3 Litium-mangaani-oksidi

Litium-mangaani-oksidiakkutyypistä käytetään myös nimitystä LMO. Akkutyypin koostuu LiMn_2O_4 katodista ja grafiittianodista. Tyypillinen ominaisenergia on 100-150 Wh/kg ja nimellinen jännite 3,70 V. Tyypillisesti toimintajännite on kuitenkin 3-4,2 V kennoa kohti. LMO:n C-arvo ladattaessa on tyypillisesti noin 0,7-1 C, mutta maksimissaan 3 C. Purkautuessa C-arvo on korkeampi eli noin 1 C, mutta pulssimaisessa 5 s purkauksessa se voi olla jopa 30 C. Elinkaari on muihin litium-ioniakkuihin verrattuna lyhyt, vain 300-700 latauspurkaus-jaksoa. Litium-mangaani-oksidin etuna on korkea teho ja se on myös turvallinen. Heikkoutena on poikkeuksellisen lyhyt elinkaari. (Battery University 2017)

2.4 Litium-nikkeli-mangaani-koboltti-oksidi

Litium-nikkeli-mangaani-koboltti-oksidiakkutyypistä käytetään myös nimitystä NMC. Akkutyypin koostuu LiNiMnCoO_2 katodista ja grafiittianodista. Tyypillinen ominaisenergia

on 130-220 Wh/kg. LG Chemin NMC -tyyppisellä akulla ominaisenergia on 138 Wh/kg. (Deutsche Bank 2016)

Tyypillinen C-arvo akkua ladattaessa on 0,7-1 C. Akun purkautumisessa C-arvo on tyypillisesti 1 C, mutta on muutamilla kennoilla 2 C. Akun elinkaari on 1000-2000 lataus-purkaussykliä, riippuen lämpötilasta ja siitä kuinka paljon akku purkautuu yhden lataus-purkaussyklin aikana. Akkutyypin etuina on korkea teho ja kapasiteetti. (Battery University 2017)

Useat NMC-katodia käyttävät litium-ioniakkukennojen valmistajat, kuten SK innovation, LG Chem ja Samsung SDI tavoittelevat kobolttin osuuden vähentämistä korvaamalla sen osuuden nikkellillä. NMC katodissa on tällä hetkellä tyypillisesti 6:2:2 nikkeli- koboltti-mangaani- suhde, mikä pyritään muuttamaan seuraavan neljän vuoden aikana 8:1:1 suhteeksi. (Randall 2018)

2.5 Litium-nikkeli-koboltti-alumiini-oksidi

Litium-nikkeli-koboltti-alumiini-oksidiakkutyypistä käytetään myös nimitystä NCA. Akkutyypissä on LiNiCoAlO_2 katodi ja grafiittianodi. Tyypillinen ominaisenergia NCA:lle on 200-260 Wh/kg, mutta esimerkiksi Panasonicin NCA-tyyppisissä akuissa ominaisenergia on 171 Wh/kg. (Deutsche Bank 2016)

Tyypillinen C-arvo akkua ladattaessa on 0,7 C. Akun purkautumisessa C-arvo on tyypillisesti 1 C, jota korkeammat C-arvot lyhentävät akun elinkaarta. Akun elinkaari on 500 latauspurkaus-sykliä, riippuen lämpötilasta ja akun purkautumisasteesta ennen lataamista. Litiumnikkeli-koboltti-alumiini-oksidiakku on suhteellisen lämpöherkkä ja hajoaa noin 150 °C:n lämpötilassa. Akkutyypin etuina on korkea ominaisenergia ja heikkoutena lämpöherkkyys sekä lyhyt elinkaari. Sähköautovalmistaja Tesla on käyttänyt NCA-tyyppisiä akkuja. (Battery University 2017)

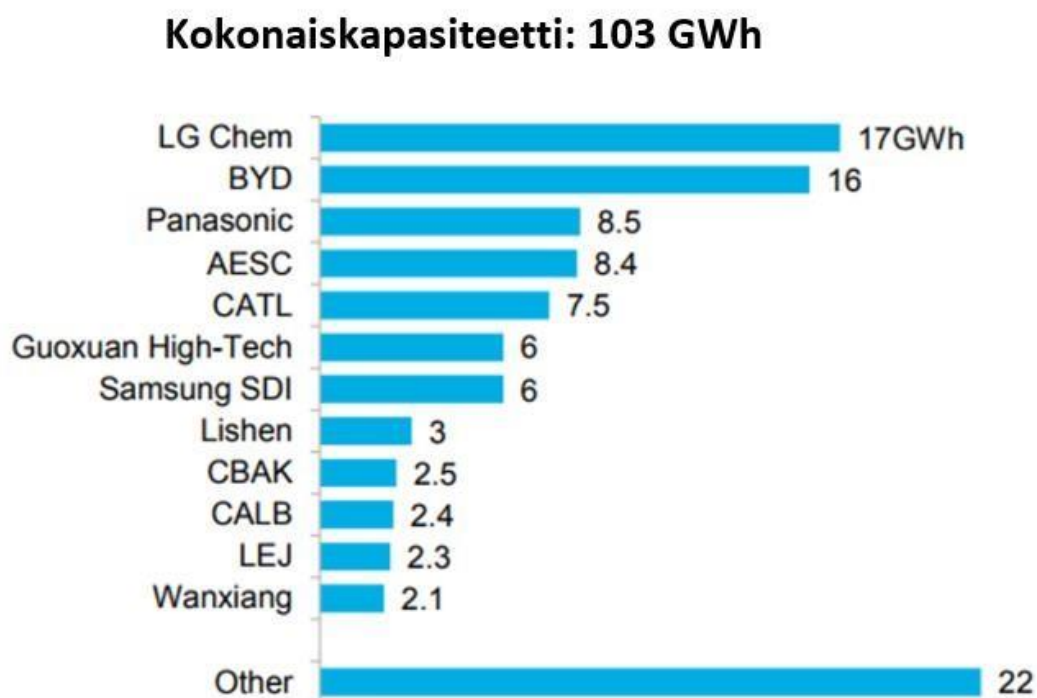
3. LITIUM-IONIAKKUKENNOJEN SEKÄ AKKUJÄRJESTELMIEN VALMISTUSPAIKAT JA KAPASITEETIT

Litium-ioniakkukkennojen suurimmat valmistajat ovat aasialaisia yrityksiä pääasiassa Kiinasta, Etelä-Koreasta ja Japanista. Litium-ioniakkukkennojen vuoden 2018 ensimmäisen kolmanneksen toteutuneella tuotannolla mitattuna suurin valmistaja on japanilaistaustainen Panasonic 3,33 GWh:n tuotannolla. Toiseksi ja kolmanneksi suurimmat valmistajat ovat kiinalaiset CATL 2,27 GWh:n ja BYD 1,74 GWh:n tuotannolla. Etelä-korealainen LG Chem on kuluvan vuoden neljänneksi suurin valmistaja 1,67 GWh:n tuotannolla. (Manthey 2018)

Kaikilla edellä mainituilla valmistajilla on Aasian lisäksi suunnitteilla tai rakenteilla tehtaita, joko Yhdysvaltoihin tai Eurooppaan. Lupaavia maita litium-ioniakkujen valmistukseen ovat mm. Puola, Unkari ja Itävalta. (Reuters 2018)

3.1 Tuotantopaikat ja kapasiteetti

Litium-ioniakkukkennojen valmistajia ovat mm.: A123 Systems, AESC, CATL, Gotion, GS Yuasa, Hitachi, LG Chem, Li Energy Japan, Lishen, Panasonic, Robert Bosch, Samsung, SK Innovation, Toshiba. Kuvassa 3.1 on esitetty suurimpien litium-ioniakkukkennojen valmistajien valmistuskapasiteetit vuoden 2017 ensimmäisellä kvartaalilla. (BNEF 2017)



Kuva 3.1. Litium-ioniakkujen valmistajien valmistuskapasiteetit vuoden 2017 ensimmäisellä kvartaalilla. (BNEF 2017)



Kuva 3.2. Litium-ioniakkukkennojen valmistuspaikkojen sijainnit maailmankartalla. (Curry 2017)

3.1.1 Kiinan tuotantopaikat



Kuva 3.3. Valmistuspaikat Kiinassa ja Etelä-Koreassa. Tehtaiden vuoden 2016 kapasiteetti ja vuoden 2020 kapasiteetin ennuste suluissa.

Kiina on edelleen johtava litium-ioniakkukennojen- sekä akkupakettien valmistaja. Korealaisella LG Chem:llä on runsaasti litium-ioniakkujen tuotantoa Kiinassa. Erityisesti autoteollisuuteen akkukennoja valmistava Nanjing LG Chem New Energy Battery Co. sijaitsee Kiinan kaakkoisosassa Nanjingin kaupungissa. Tehtaan valmistuskapasiteetti oli vuonna 2016 2 GWh ja sen ennustetaan kasvavan 8 GWh:n vuoteen 2020 mennessä. (LG Chem 2018)

CATL eli Contemporary Amperex Technology Co. limited on kiinalainen litium-ioniakkujen- ja akkupakettien valmistaja, jonka merkittävin tehdas sijaitsee Ningden kaupungissa Kiinan kaakkoisosassa. Tehtaan valmistuskapasiteetti oli vuonna 2016 5 GWh, mutta sen ennustetaan olevan vuonna 2020 maailman suurin litium-ioniakkutehdas 50 GWh:n tuotantokapasiteetillaan. (BMI 2017)

Kiinalaisomisteinen Lishen valmistaa LFP-tyyppisiä litium-ioniakkuja Tianjin kaupungissa. Tehtaan valmistuskapasiteetti oli vuonna 2016 noin 3 GWh. Vuonna 2020 valmistuskapasiteetin ennustetaan olevan noin 20 GWh. (BMI 2017)

Puhelimien akkuvalmistajana tunnettu BYD valmistaa kiinassa myös sähköajoneuvoihin soveltuvia litium-ioniakkuja. Yrityksen Shenzhenin kaupungissa sijaitsevan tehtaan valmistus kapasiteetti oli vuonna 2016 noin 3 GWh. Tehtaan valmistus kapasiteetin ennustetaan olevan vuonna 2020 noin 12 GWh. (BMI 2017)

BYD on laajentamassa toimintaansa Etelä- ja Pohjois-Amerikkaan. BYD rakentaa litiumioniakkukennoja ja -järjestelmiä valmistavaa tehdasta Brasiliaan. Tehtaan on tarkoitus valmistaa erityisesti sähköbussihin soveltuvia litium-ioniakkujärjestelmiä. BYD:n kokonaisvalmistuskapasiteetti on tehtaan valmistuttua 34 GWh vuonna 2020. (Lithium Australia 2016)

Yhdysvaltalaisella litium-ioniakkukennoja, akkumoduuleja sekä akkujärjestelmiä valmistavalla Boston Powerilla on Kiinassa Liyangin kaupungissa litium-ioniakkukennoja valmistava tehdas. Vielä osittain kesken olevan tehtaan valmistuskapasiteetti oli vuonna 2016 vain noin 0,5 GWh, mutta tehtaan valmistuskapasiteetin ennustetaan olevan noin 8 GWh vuonna 2020. (BMI 2017)

Samsung SDI:llä on kiinassa Xi'an kaupungissa sähköajoneuvoihin soveltuvia litium-ioniakkukennoja valmistava tehdas. Tehtaan valmistus kapasiteetti oli vuonna 2016 noin 2 GWh. Vuonna 2020 valmistuskapasiteetin ennustetaan olevan 4 GWh. (BMI 2017)

Panasonicilla on rakenteilla Dalian kaupunkiin sähköajoneuvoihin soveltuvia litium-ioniakkukennoja valmistava tehdas. Tehtaan valmistuskapasiteetti on sen valmistuessa noin 2,3 GWh. Tehtaan on määrä valmistua vuoteen 2020 mennessä.

CALB eli China Aviation Lithium Battery Co. valmistaa korkean kapasiteetin LFP-tyyppisiä litium-ioniakkukennoja Kiinassa Luoyangin kaupungissa. Tehtaan valmistuskapasiteetti oli vuonna 2016 noin 1 GWh. Tehtaan valmistuskapasiteetiksi ennustetaan laajennuksen jälkeen vuonna 2020 noin 3 GWh. (BMI 2017)

Eteläkorealainen valmistaja SK Innovation rakentaa litium-ioniakkukkennoja valmistavaa tehdasta Kiinan Jiangsu:n provinssiin. Tehtaan valmistuskapasiteetti on 7.5 GWh vuodessa. (Randall 2018)

Ajoneuvojen varustaja Webasto ja kiinalainen litium-ioniakkukkennojen valmistaja A123 Systems rakentavat yhdessä litium-ioniakkujärjestelmiä valmistavaa tehdasta kiinaan. Akkujärjestelmät on suunniteltu suuriin sähköajoneuvoihin, kuten rekkoihin ja linja-autoihin. (Manthey 2018)

3.1.2 Japanin tuotantopaikat

Lithium Energy Japan syntyi Gs Yuasa Internationalin, Mitsubishi Corporationin ja Mitsubishi Motors Corporationin fuusion seurauksena. Gs Yuasa valmistaa litium-ioniakkumoduuleja. Yritys valmistaa japanissa esimerkiksi LIM25H litium-ioniakkumoduuleja, joiden latauksen sekä purkautumisen C -arvo on 24 C. Näitä akkumoduuleja käytetään pääasiassa teollisuuden sähkökäyttöisissä työkonneissa, kuten liikkuvissa lastaus ja nosturilaitteissa. (Gs Yuasa 2018)

3.1.3 Etelä-Korean tuotantopaikat

Etelä-Korean suurin ja tällä hetkellä tuotantokapasiteetiltaan maailman neljänneksi suurin litium-ioniakkukkennojen valmistaja on LG Chem. Sähköajoneuvoihin soveltuvia litium-ioniakkuja valmistetaan Ochang 1 tehtaalla Cheongjun kaupungissa. Lisäksi litium-ioniakkujen anodi-, katodi- ja rakennemateriaaleja valmistetaan Cheongju Complex tehtaalla Cheongjun kaupungissa (LG Chem 2018). Ochang tehtaan valmistuskapasiteetti oli vuonna 2016 8 GWh. Vuoden 2020 valmistuskapasiteetin ennuste on 18 GWh. (BMI 2017)

Samsung SDI:llä on Etelä-Koreassa Ulsan kaupungissa Litium-ioniakkukkennoja valmistava tehdas. Tehtaan valmistuskapasiteetti oli vuonna 2016 noin 2,5 GWh ja vuoden 2020 valmistuskapasiteetiksi ennustetaan noin 5 GWh. (BMI 2017)

Enertech International valmistaa litium-ioni-polymeeriakkukkennoja sekä kyseisistä akkukkennoista rakennettuja akkupaketteja. Litium-ioni-polymeeriakku on valmistettu käyttäen samanlaisia anodi- ja katodimateriaaleja kuin litium-ioniakuissa, mutta elektrolyytinä käytetään nestemäisen elektrolyytin sijasta kiinteätä polymeerielektrolyyttiä. Polymeeri -tekniikkaa käyttäessä akkukennon nimellisjännite ja ominaisenergia vastaa litium-ioniakkukennon ominaisuuksia, mutta polymeeri- tekniikalla valmistetun akkukennon elinkaari on lyhyempi. Polymeeri- tekniikka on toisaalta turvallisempi ja mahdollistaa jouston akkukennon koossa. Enertech Internationalin akkupaketteja käytetään erityisesti sähköautoissa ja sähköbussseissa. Enertech International tehdas sijaitsee Etelä-Koreassa Chungju:n kaupungissa. Tehtaalla valmistetaan vuosittain noin 3,6 miljoonaa akkupakettia. (Enertech International 2018)

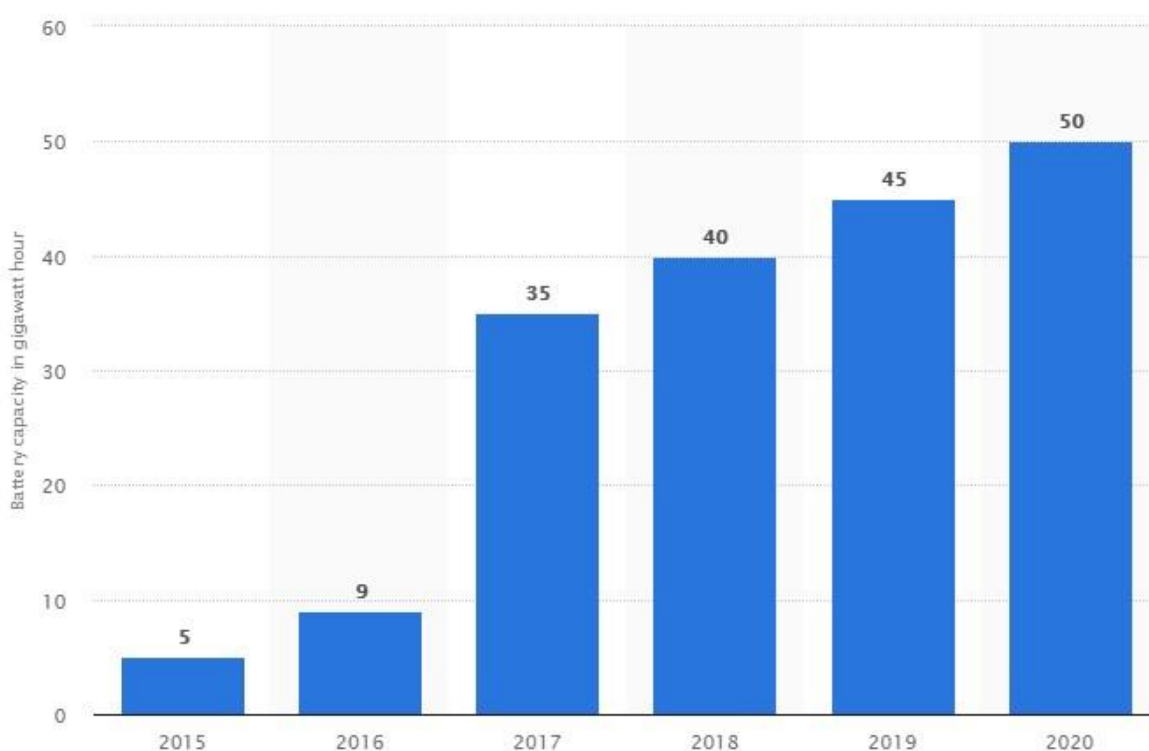
Eteläkorealaisella SK Innovationilla on litium-ioniakkukkennoja valmistava tehdas Seosan kaupungissa. Tehtaan valmistuskapasiteetti on tällä hetkellä 3,8 GWh vuodessa. Tehtaan valmistuskapasiteettia kasvatetaan parhaillaan 4,7 GWh:n vuodessa. (Randall 2018)

3.1.4 USA:n tuotantopaikat

Maailman toiseksi suurin rakenteilla oleva ja osittain tuotantonsa aloittanut akkutehdas on Teslan Gigafactory Sparksissa Nevadan osavaltiossa Yhdysvalloissa. Tehtaan rakentaminen on aloitettu 2014 ja sen valmistumisaste on noin 35 %. Tehtaan vuotuinen valmistuskapasiteetti on 35 GWh. (Tesla 2017)

LG Chem valmistaa litium-ioniakkuja- ja akkupaketteja Yhdysvalloissa Michiganin osavaltiossa Hollandin kaupungissa. Tehtaan valmistuskapasiteetti oli vuonna 2016 noin 1 GWh. Vuoden 2020 valmistuskapasiteetiksi ennustetaan noin 3 GWh. (LG Chem 2018)

Kuvassa 3.4 on esitetty Yhdysvaltojen toteutunut litium-ioniakkukkenojen valmistuskapasiteetti 2015-2017 sekä 2018-2020 ennuste. Vuodesta 2016 vuoteen 2017 Yhdysvaltojen valmistuskapasiteetti kasvoi 289 %, mikä johtui pääasiassa Teslan Gigafactory:n tuotannon käynnistymisestä.



Kuva 3.4. Sähköajoneuvoihin käytettävien litium-ioniakkukkenojen valmistuskapasiteetti Yhdysvalloissa yksikössä GWh vuodessa. (Statista 2018)

3.1.5 Euroopan tuotantopaikat

Iso osa tällä hetkellä Euroopassa toimivista akkutehtaista on muussa kuin eurooppalaisessa omistuksessa. LG Chem valmistaa Puolan Wrocławissa sähköajoneuvojen akkupaketteja sekä akkukkenoja (LG Chem 2018). Wrocławin tehtaan valmistuskapasiteetin ennuste vuodelle 2020 on noin 5 GWh (BMI 2017). LG Chem:n Puolan tehtaalla valmistettavia akkupaketteja toimitetaan Volkswagenille, General Motorsille ja Renault SA:lle (Reuters 2018).

Etelä-korealainen Samsung SDI valmistaa Itävallassa litium-ioniakkupaketteja. Akkupaketteja toimitetaan BMW:lle ja Volkswagenille. Samsung SDI suunnittelee lisäksi litium-ioniakkupaketteja valmistavaa tehdasta Unkarin pääkaupunkiin Budapestiin. (Reuters 2018)

Eteläkorealainen yritys SK Innovation rakentaa tehdasta Komáromin kaupunkiin Unkariin. Tehdas valmistuu arviolta loppuvuodesta 2019 ja tuotanto aloitetaan tehtaalla 2020. Tehtaan on tarkoitus valmistaa 7,5 GWh litium-ioniakkukkenoja vuodessa 2022 lähtien. Yritys kertoo ajoneuvo teollisuuden yhteistyökumppanikseen Daimlerin. (Reuters 2018)

3.1.6 Tuotanto Suomessa

Kuvassa 2.2 Suomessa oleva vihreä ympyrä tarkoittaa Varkauden akkutehdasta. European Battery Technologies Oy:n tehtaalla on tällä hetkellä vain pienimuotoista toimintaa. Yrityksen liikevaihto vuonna 2016 oli vain 409 000 euroa, joka vastaa lähinnä kehitystoiminnan ja markkinoinnin kuluja tai todella pientä tuotantoa. (Kauppalehti 2018) Vuonna 2010 valmistunut tehdas tuotti tappiota, kunnes ajautui konkurssiin kesällä 2013. Tehtaan toiminta ja laitteet myytiin vuonna 2015 Arsen Khusnutdinoville, joka käynnisti tehtaan toiminnan uudelleen joulukuussa 2015. (Ripaoja 2017)

Omien kotisivujensa mukaan yritys valmistaa rakenteeltaan LiFePO_4 akkukkenoja. LiFePO_4 akkukkennoista käytetään yleisesti lyhennettä LFP. Kyseessä on siis perinteinen litiumioniakkutyyppe, jossa käytetään katodimateriaalina litiumrautafosfaattia ja anodimateriaalina grafiittia. Yritys valmistaa kennoista 1,1-4,3 kWh:n akkumoduuleja. Yrityksen tuotteena on myös BMS eli akkujen hallintajärjestelmä. Yritys rakentaa asiakkaan tarpeiden mukaan akkupaketteja, jotka sisältävät tarvittavan määrän sopivan kokoisia akkumoduuleja sekä akkujen hallinta järjestelmän. Akkumoduulien ja järjestelmien käyttökohteiksi mainitaan kulkuneuvot, kuten henkilöautot, rekat ja linja-autot sekä raskaat teollisuuden työkonet, kuten trukit, nosturit ja erikoiskuorma-autot. (European Battery Technologies 2018)

CATL osti tammikuussa 2017 22 %:n osuuden suomalaisesta Valmet Automotivesta. CATL:n mukaan oston taustalla on suunnitelmat rakentaa litium-ioniakkuja valmistava tehdas Eurooppaan, mutta suunnitelmien yksityiskohtia ja tehtaan sijoittumista Euroopassa ei ole vielä julkaistu. (Manthey 2018)

3.2 Autotehtaiden omat akkutehtaat

Useilla autotehtailla on oma akkutehdas. Uudessakaupungissa Valmetin tehtaalla aloitettiin litium-ioniakkuja käyttävien akkujärjestelmien valmistus syksyllä 2017. (Kankare, 2017) Valmet Automotive suunnittelee litium-ioniakkupakettien suursarjatuotantoa Saloon. Tehtaan valmistuskapasiteetista ei ole vielä tietoa, mutta akkupaketteja tullaan käyttämään ainakin Daimlerin sähköajoneuvoissa (Kossila 2019)

Osittain kiinalaisomisteinen ruotsalainen sähköauto valmistaja NEVS (National Electric Vehicle Sweden) suunnittelee autotehtaan omaa akkutehdasta Ruotsiin. Tehtaan on omistajan mukaan tarkoitus valmistua loppuvuodesta 2019 (Reuters 2018). Tehtaan valmistuskapasiteetista ei ole toistaiseksi tietoa. Tehtaalla on tarkoitus valmistaa akkupaketteja ainakin NEVS:n Saab 9-3:n perustuvaan sähköauto malliin (NEVS 2018).

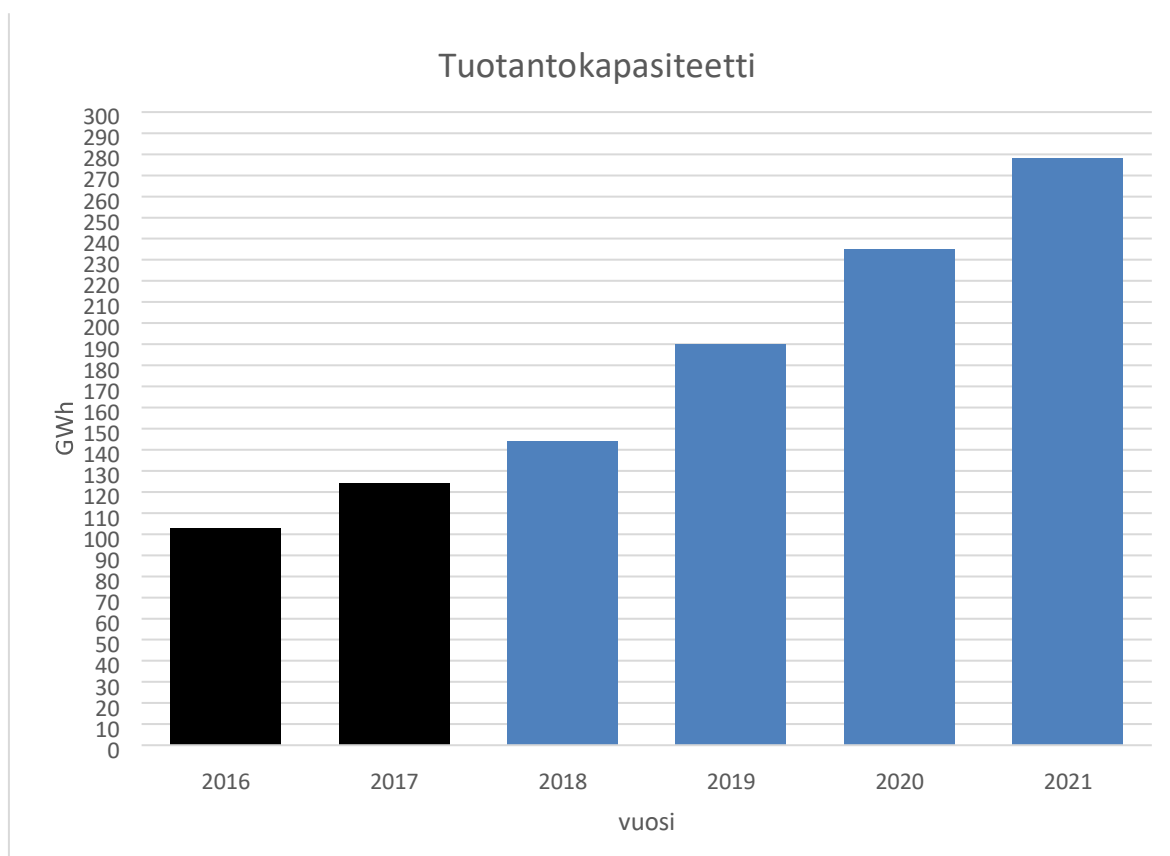
3.3 Tulevaisuuden suunnitelmat

Kuvassa 3.4 on esitetty ennusteet litium-ioniakkujen kapasiteetin kehitykselle vuoteen 2021 asti. Valmistuskapasiteetin ennustetaan kasvavan noin 122 % vuoden 2017 tasosta. Suurin Eurooppaan suunnitella oleva litium-ioniakkutehdas on ruotsalainen Northvolt. Tehtaan arvioidaan valmistuvan 2023. Tehtaan litium-ioniakkukennojen valmistuskapasiteetti vuonna 2023 on noin 32 GWh vuodessa. Akkukennoja käyttäviksi yhteistyökumppaneiksi yritys on ilmoittanut Scanian, ABB:n, Siemensin ja Volkswagenin. (Reuters 2018)

Eteläkorealainen SK Innovation suunnittelee litium-ioniakkukennoja valmistavaa tehdasta Yhdysvaltojen Georgiaan. Tehtaan rakentaminen on tarkoitus aloittaa vuonna 2019 ja tehdas valmistuu omistajan mukaan vuonna 2022. Tehtaan valmistuskapasiteetti tulee olemaan 9.8 GWh vuodessa

Kiinalainen CATL perustaa litium-ioniakkukennoja valmistavan tehtaan Saksan Erfurtiin. Tehtaan on tarkoitus käynnistyä täydellä kapasiteetilla vuonna 2022. Tehtaan kapasiteetti tulee olemaan 14 GWh vuodessa. Akkutehtaan asiakkaina on eurooppalaisia ajoneuvo valmistajia, kuten Volkswagen ja Daimler. (Manthey 2018)

Wanxiang Group suunnittelee litium-ioniakkumoduuleja valmistavaa tehdasta Kiinaan Hangzhou kaupunkiin. Valmistumisen jälkeen tehtaan kapasiteetti on suunnitelmien mukaan 80 GWh vuodessa. (Shumin 2018)



Kuva 3.4. Sähköajoneuvoihin soveltuvien litium-ioniakkujen valmistuskapasiteetti sekä valmistuskapasiteetin ennuste vuoteen 2021. (Bloomberg 2017)

4. LITIUM-IONIAKKUIHIN TARVITTAVIEN RAAKA-AINEIDEN TUOTANTOPAIKAT

Litium-ioniakkuihin tarvittavia raaka-aineita ovat litiumin lisäksi koboltti, grafiitti, mangaani, titanaatti, alumiini ja nikkeli.

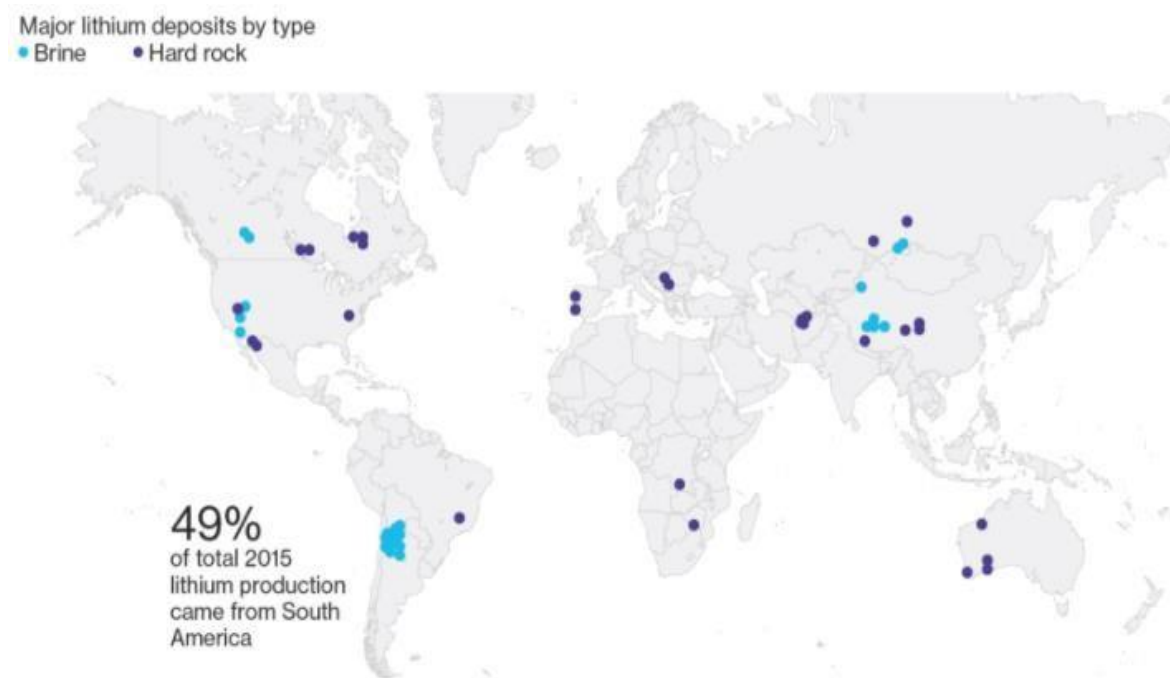
4.1.1 Litiumin tuotantopaikat

Litium-ioniakkuihin käytettävän litiumin osuus kaikesta käytetystä litiumista on kasvanut viime vuosina. Vuonna 2017 46 % kaikesta Yhdysvaltojen kuluttamasta litiumista käytettiin akkuihin. (USGS 2018)

Taulukko 4.1. Maailman litium reservien jakautuminen eri maiden kesken sekä vuosien 2016 ja 2017 tuotannot. (USGS 2018)

Valtio	Tuotanto 2016	Tuotanto 2017	Reservit
Chile	14 300	14 100	7 500 000
Kiina	2 300	3 000	3 200 000
Australia	14 000	18 700	2 700 000
Argentiina	5 800	5 500	2 000 000
Portugali	400	400	60 000
Brasilia	200	200	48 000
Yhdysvallat	-	-	35 000
Zimbabwe	1 000	1 000	23 000
Koko maailma	38 000	43 000	16 000 000

Kuvista 3.2 ja 4.1 voimme havaita, että sekä litiumreservit että tämän hetkinen litiumin tuotanto jakautuu pääasiassa sellaisiin maihin, joilla ei ole vielä omia akkutehtaita. Näihin maihin kuuluu Chile, Argentiina ja Australia. Ainoa poikkeus on Kiina, jossa on suuri litiumioniakkujen tuotantokapasiteetti, runsaasti omaa litiumin tuotantoa sekä 3 200 000 tonnia litium reservejä. Kiinan tuottama litium ei kuitenkaan riitä kattamaan maan kasvavaa litiumin tarvetta vaan litiumista suurin osa tuodaan Australiasta. Kiinaan tuodun litiumkarbonaatin hinta oli vuonna 2017 15-26 \$/kg. (USGS 2018)



SOURCES: DEUTSCHE BANK, USGS, BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE

Kuva 4.1. Litiumin louhintapaikat vuonna 2015. (Shankleman 2017)

Toiseksi suurin litium-ioniakkujen valmistaja maa eli Yhdysvallat turvautuu litiumin hankinnassa suurimmaksi osaksi tuontiin. Litiumista 49 % tuodaan Chilestä ja 48 % Argentiinasta. Vuoden 2017 keskiarvo litiumkarbonaatin hinnalle oli 13,9 \$/kg eli hinta oli noussut 61 % vuodesta 2016, jolloin keskiarvo oli noin 8,6 \$/kg.

Litiumin tuotanto jakautuu suolavesijärviin ja kaivoksiin. Kaivoksista louhitaan lähinnä spodumeenia, josta erotellaan litiumia, joka jalostetaan litiumoksidiksi. Suurin osa Chilen ja Argentiinan litiumista on suolavesijärvisä. Suolavesijärvisä litium saadaan haihduttamalla. Haihduttaminen on spodumeenin louhintaan verrattuna jopa 50 % halvempaa. Haihduttaminen on hitaampaa kuin louhinta ja se on myös herkempi ilmastollisille muutoksille. Runsaat sateet hidastavat litiumin tuottamista haihdutusmenetelmällä. (Toivonen 2017)

Merkittävä litiumin louhinta- ja jalostuspaikka Suomessa on Keliberin kaivos Pohjanmaalla. Louhinta Keliberin kaivoksella ei ole vielä aloitettu, mutta kaivokselle on jo myönnetty ympäristö- ja kaivoslupa. Keliberin arvion mukaan Läntässä, Syväjärvellä, Outovedellä, Rapasaarella, Leviäkankaalla ja Emmeksessä on yhteensä 8,065 miljoonan tonnin mineraalivarannot, josta 1,19 % eli 95973,5 tonnia on litiumia. Mitattuja mineraalivarantoja on yhteensä 1,247 miljoonaa tonnia samalla litium pitoisuudella. Läntän, Syväjärven, Outoveden ja Rapasaaren arvioidut malmivarat ovat yhteensä 4,49 miljoonaa tonnia, josta litiumin pitoisuus on 1,1 %. Oman arvionsa mukaan Keliber pystyy tuottamaan 9000 tonnia puhdasta akkuihin käytettävää litiumkarbonaattia vuodessa. Tuotanto aloitetaan yhtiön mukaan vuonna 2020. (Keliber 2017)

4.1.2 Nikkelin tuotantopaikat

Nikkelin osuuden akuissa ennustetaan kasvavan huomattavasti, koska nikkelillä pyritään korvaamaan mahdollisimman suuri osa koboltista katodin raaka-aineena. Maailman suurimmat nikkelin tuottajat vuosina 2016 ja 2017 sekä näiden maiden reservit ovat esitelty taulukossa 4.2.

Taulukko 4.2. Maailman suurimmat nikkelin tuottajat. (USGS 2018)

Maa	Tuotanto 2016 (t)	Tuotanto 2017 (t)	Reservit
Australia	204 000	190 000	19 000 000
Brasilia	160 000	140 000	12 000 000
Venäjä	222 000	180 000	7 600 000
Muut valtiot	150 000	150 000	6 500 000
Kuuba	51 600	51 000	5 500 000
Filippiinit	347 000	230 000	4 800 000
Indonesia	199 000	400 000	4 500 000
Etelä Afrikka	49 000	49 000	3 700 000
Kiina	98 000	98 000	2 900 000
Kanada	236 000	210 000	2 700 000
Guatemala	54 000	68 000	1 800 000
Madagaskar	49 000	45 000	1 600 000
Kolumbia	41 600	49 000	1 100 000
Yhdysvallat	24 100	23 000	130 000
Uusi-Kaledonia	207 000	210 000	-
Koko maailma	2 090 000	2 100 000	74 000 000

Nikkeliä kierrätetään paljon ja vuonna 2017 noin 90 000 tonnia nikkeliä otettiin talteen jätteistä. Maailmassa on 130 miljoonan tonnin nikkeli resurssit, jotka eivät tällä hetkellä ole hyödynnettävissä. Tämän lisäksi nikkeli resurssija on runsaasti valtamerien pohjassa. (USGS 2018)

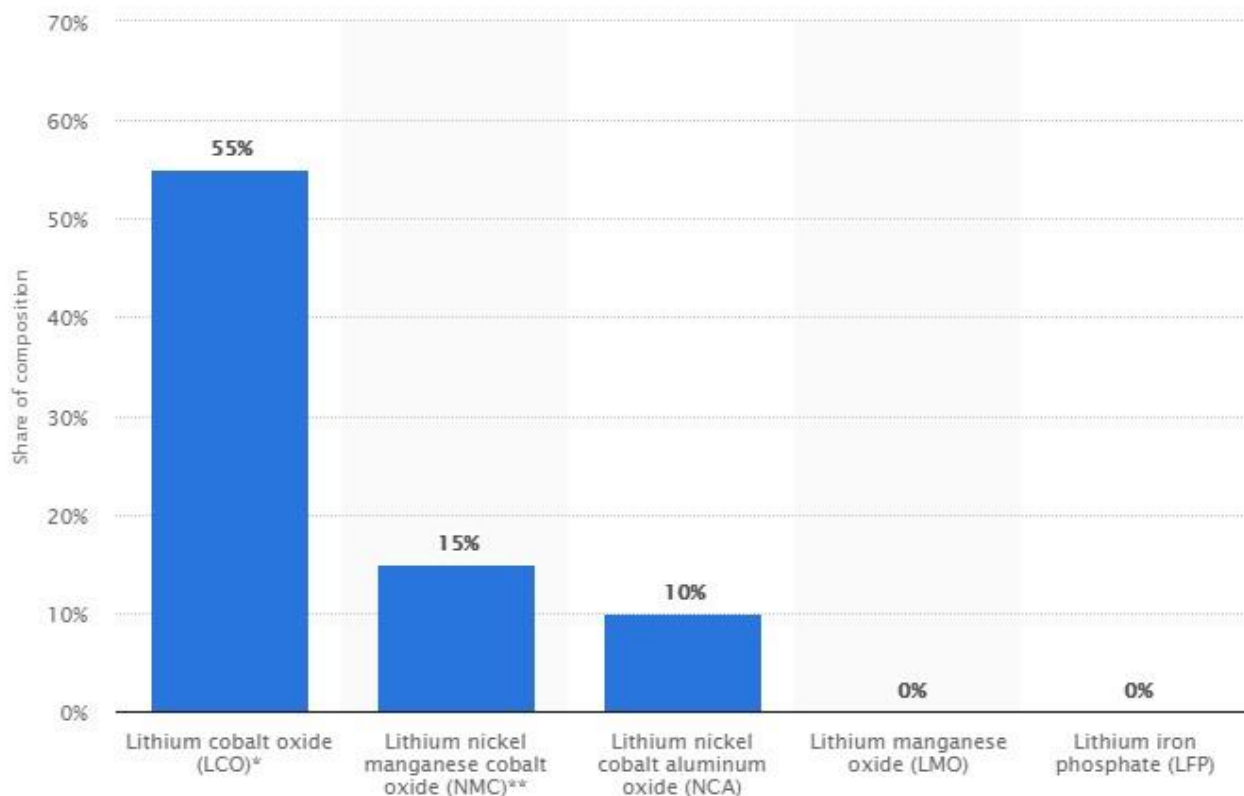
Suomessa Harjavallassa sijaitsee merkittävä nikkelin tuotantopaikka. Norilsk Nickelin tehtaalla sulatetaan ja jalostetaan Venäjän Kuolanniemimaalla ja Norilskissa louhittua nikkeliä. Tehtaan nimelliskapasiteetti on 65 000 tonnia nikkeliä vuodessa. (Pakkanen 2018)

Terrafame Oy:n Sotkamon kaivoksella louhitaan nikkeliä. Vuonna 2017 kaivoksella louhittiin nikkeliä 37 042 tonnia. Terrafamen metallitehdas tuotti samana vuonna 20 864 tonnia nikkeliä. Terrafame Oy on osa Suomen valtion omistamaa Terrafame Group Oy:tä. (Terrafame 2018)

4.1.3 Koboltin tuotantopaikat

Koboltin tarve litium-ioniakuissa on tällä hetkellä vähäinen ja vain murto-osa kaikesta tuotetusta koboltista käytetään litium-ioniakkuihin. Koboltin käyttöä on tyypillisesti pyritty vähentämään litium-ioniakkujen katodien raaka-aineena. Syynä on koboltin tuotannon keskittyminen vain muuntamaan yritykseen, jotka louhivat koboltia köyhissä maissa, kuten Kongon demokraattisessa tasavallassa, jossa työolosuhteet ovat huonot ja lapsityövoimaa

käytetään laajasti (Sanderson 2018). Kuvassa 4.2 on esitetty koboltin osuus eri katodirakenteissa vuonna 2017.



Kuva 4.2. Koboltin osuus litium-ioniakkukkennojen katodin raaka-aineista. (Statista 2018)

Taulukossa 4.3 esitettyjen käytettävissä olevien koboltti reservien lisäksi maailmassa on varmistettuja koboltti resursseja noin 25 miljoonaa tonnia. Suurin osa näistä resursseista sijaitsee Kongossa, Sambiassa, Kuubassa, Australiassa, Kanadassa, Venäjällä ja Yhdysvalloissa. Tämän lisäksi valtamerien pohjassa on arviolta noin 120 miljoonaa tonnia kobolttia. (USGS 2018)

Taulukko 4.3. Maailman suurimmat kobolttin tuottajat. (USGS 2018)

Maa	Tuotanto 2016 (t)	Tuotanto 2017 (t)	Reservit
Kongo	64 000	64 000	3 500 000
Australia	5 500	5 000	1 200 000
Muut valtiot	7 600	7 600	560 000
Kuuba	4 200	4 200	500 000
Filippiinit	4 100	4 000	280 000
Sambia	3 000	2 900	270 000
Venäjä	5 500	5 600	250 000
Kanada	4 250	4 300	250 000
Madagaskar	3 800	3 800	150 000
Papua Uusi-Guinea	2 190	3 200	51 000
Etelä Afrikka	2 300	2 500	29 000
Yhdysvallat	690	650	23 000
Uusi-Kaledonia	3 390	2 800	-
Koko maailma	111 000	110 000	7 100 000

4.1.4 Grafiitin tuotantopaikat

Maailman merkittävimmät luonnollisen grafiitin tuottajat on lueteltu taulukossa 4.4. Koko maailman grafiitti reservit ovat noin 800 miljoonaa tonnia. Tällä hetkellä käytössä olevat 270 000 tonnin reservit ovat siis vain 0,03% kaikesta havaitusta grafiitista. Grafiitin tuotannolla on suuret kasvupaineet, sillä se on yleistymässä litium-ioniakkujen anodimateriaalina. Pelkästään Teslan gigafactory tarvitsee valmistuessaan 93 000 tonnia hiutalegrafiittia. (USGS 2018)

Taulukko 4.4. Maailman merkittävimmät luonnollisen grafiitin tuottajat. (USGS 2018)

Maa	Tuotanto 2016 (t)	Tuotanto 2017 (t)	Reservit
Brasilia	96	95	70 000
Kanada	30	30	-
Kiina	780	780	55 000
Intia	149	150	8 000
Pohjois-Korea	6	6	-
Madagaskar	8	7	1 600
Meksiko	4	4	3 100
Mosambik	-	23	17 000
Norja	8	8	-
Pakistan	14	14	-
Venäjä	19	19	-
Sri lanka	4	4	-
Tansania	-	-	17 000
Turkki	4	4	90 000
Ukraina	15	15	-
Vietnam	5	5	-
Zimbabwe	6	6	-
Muut valtiot	2	2	-
Koko maailma	1 150	1 200	270 000

4.1.5 Mangaanin tuotantopaikat

Mangaania käytetään tällä hetkellä erityisesti NCM-tyyppisissä litium-ioniakuissa. Mangaani tarvitsee toimiakseen kobolttia, joten kobolttin vähentämistrendin vuoksi myös mangaanin määrän litium-ioniakkujen katodin raaka-aineena ennustetaan vähentyvän. (Toivonen 2017)

Taulukon 4.5 mukaan suurimman tuotannon sekä suurimmat reservit omaa Etelä Afrikka. Etelä Afrikassa sijaitsee myös noin 78 % koko maailman mangaani resursseista. Ukrainassa on maailman toiseksi suurimmat käytettävissä olevat reservit sekä 10 % maailman mangaani resursseista. (USGS 2018)

Taulukko 4.5. Mangaani malmin vuosittainen tuotanto eri maissa tuhansina kilogrammoina sekä maiden käytettävissä olevat reservit. (USGS 2018)

Maa	Tuotanto 2016 (t)	Tuotanto 2017 (t)	Reservit
Etelä Afrikka	5 300	5 300	200 000
Kiina	2 330	2 500	48 000
Australia	2 240	2 200	94 000
Gabon	1 620	1 600	20 000
Brasilia	1 080	1 200	120 000
Intia	745	790	34 000
Ghana	553	550	13 000
Ukraina	425	380	140 000
Malesia	266	270	-
Kazakstan	212	230	5 000
Meksiko	206	220	5 000
Muut valtiot	681	760	(vähäinen)
Koko maailma	15 700	16 000	680 000

4.2 Suunnitteilla olevat raaka-aineiden tuotantopaikat

Terrafame Oy suunnittelee akkukemikaalien tuotantoa Sotkamoon. Tehdas valmistuu Terrafamen arvioiden mukaan 2020. Tehtaan valmistuskapasiteetti olisi valmistuessaan 150 000 tonnia nikkelisulfaattia ja 5 000 tonnia kobolttisulfaattia. Akkukemikaalitehdas on edennyt ympäristövaikutusten arviointiin eli YVA-menettelyyn. Tehtaassa tulevaisuudessa valmistettavat akkukemikaalit on suunniteltu sähköautojen litium-ioniakkujen tarpeisiin (Terrafame 2018). Keliber tutkii Keski-Pohjanmaalla olevia litium esiintymiä. Olemassa olevan Syväjärven kaivoksen lähistölle on suunnitteilla 5 uutta kaivosta (Keliber 2018).

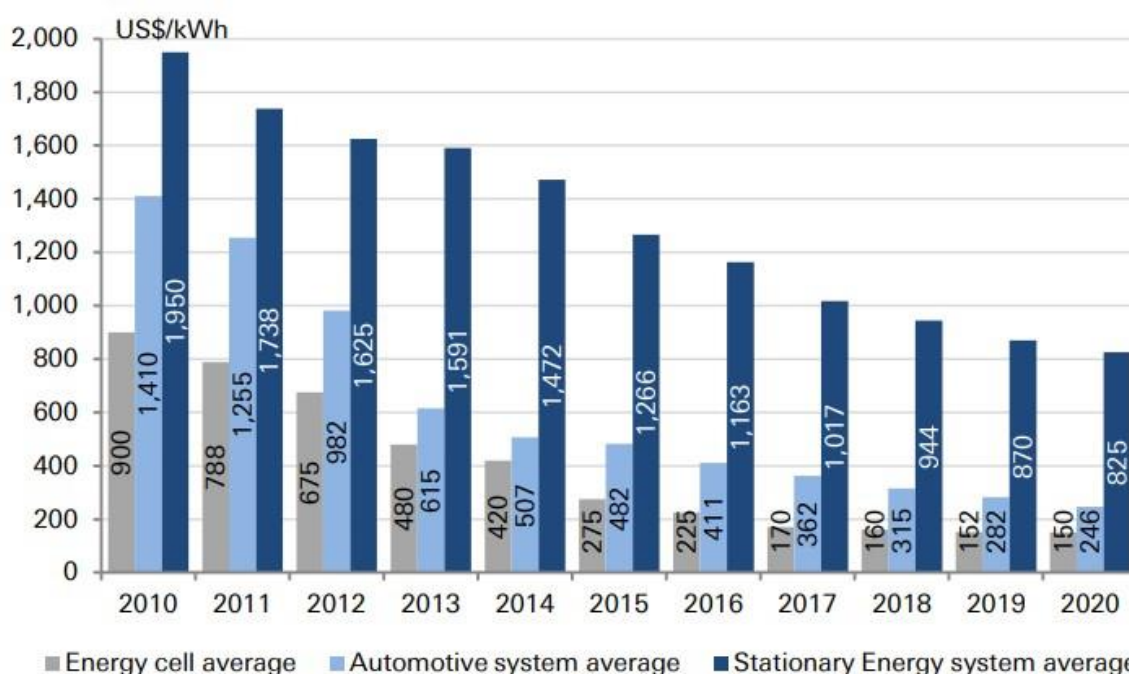
4.3 Hintakehitys

Yhdysvaltojen energiaministeriön tavoitehintaa sähköajoneuvojen akuille oli 125 \$/kWh. (Holliday 2015) Vuonna 2015 litium-ioniakkukennojen markkinahinta oli keskimäärin 282 \$/kWh. (DOE 2017)

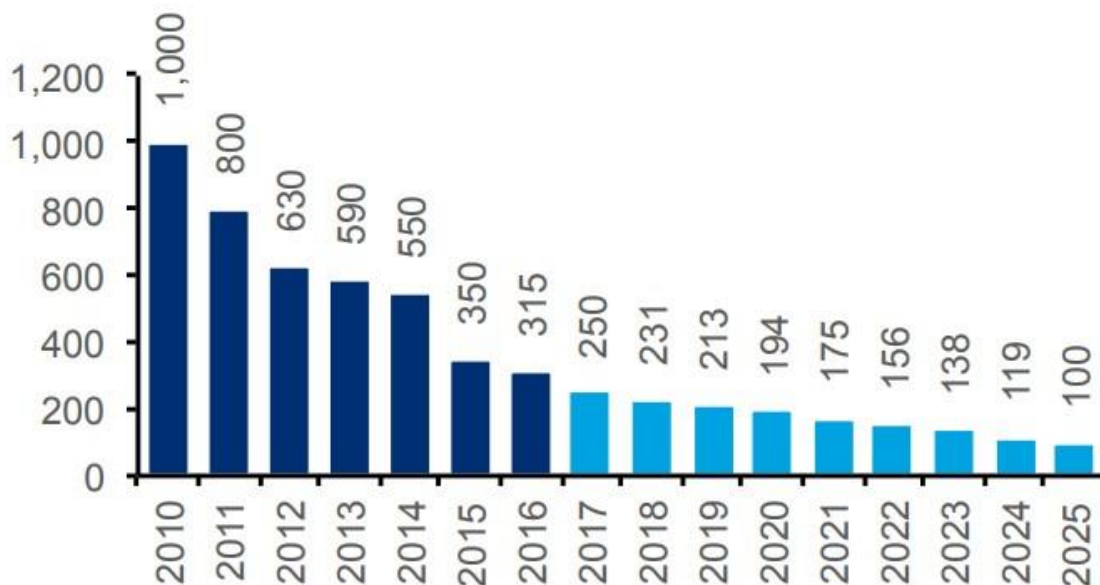
Litium-ioniakkujen hinta seuraa raaka-aineiden hintojen muutoksia. Koboltilla on yksittäisistä raaka-aineista suurin vaikutus akun hintaan. Nikkelillä ja litiumilla on

huomattavasti pienempi vaikutus akun lopulliseen hintaan. Litiumin hinnan nousu 300 %:lla vaikuttaa akuston hintaan vain 2 %:lla, kun taas kobolttin vastaava hinnan nousu vaikuttaa jopa 13 %. (Bloomberg 2017)

Kuvassa 4.3 on esitetty litium-ioniakkukenojen ja autoteollisuuden litium-ioniakkujärjestelmien maailmanlaajuisen otannan hintojen keskiarvot. Kuvassa 4.4 keskiarvoon on otettu mukaan myös teollisuuden sähkökäyttöisissä ajoneuvoissa ja työkaluissa käytettävät litiumioniakkupaketit. Litium-ioniakkukenojen keskihinta on laskenut vuoden 2010 tasosta 82 % ja vuoden 2018 keskihinnaksi ennustetaan noin 170 \$/kWh. Autoteollisuuden litium-ioniakkujärjestelmien keskihinnan vuoden 2018 arvio noin 362 \$/kWh, joka on 74 % vähemmän kuin vuonna 2010. Autoteollisuuden litium-ioniakkujärjestelmien keskihinnan pienempi lasku johtuu siitä, että akkujen hallintajärjestelmien hinnoissa ei ole tapahtunut samanlaista romahdusta kuin litium-ioniakkukenojen hinnoissa. Kaikkien litium-ioniakkupakettien keskihinta taas on laskenut noin 77 % viimeisen 8:n vuoden aikana. (Bloomberg 2017)



Kuva 4.3. Litium-ioniakkujen hinnan kehitys vuosina 2010-2016 sekä ennuste 2017-2020. (Deutsche Bank 2016)



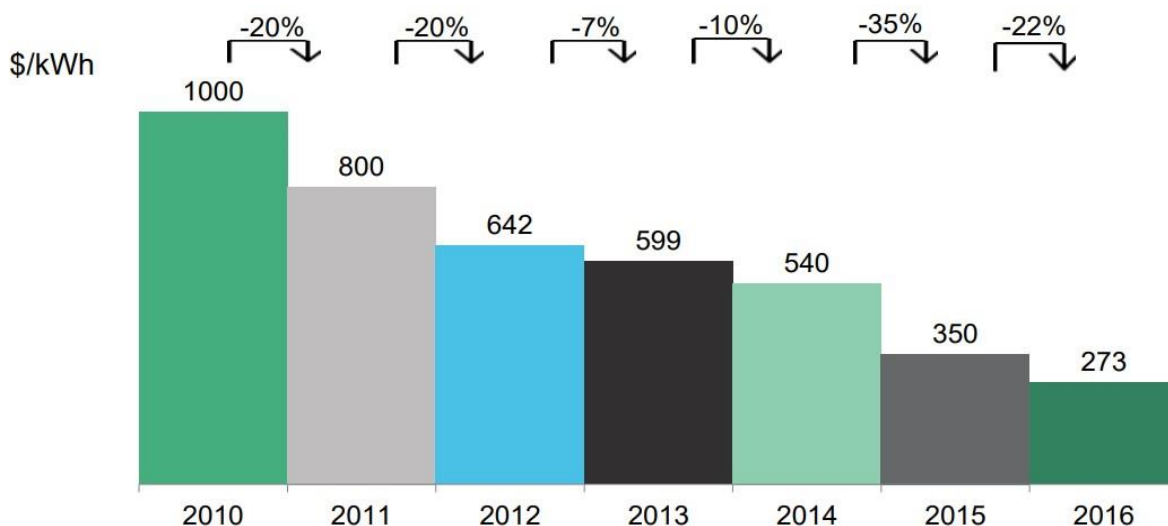
Kuva 4.4. Kaikkien sähköajoneuvoihin soveltuvien litium-ioniakkupakettien hinnan kehitys yksikössä \$/kWh vuosina 2010-2016 sekä vuosien 2017-2025 arvio. (KPMG 2018)

Kuvassa 4.3 on esitetty litium-ioniakkukennojen sekä autoihin käytettävien akkujärjestelmien hinnan kehitys vuosina 2010-2016. Kuvassa esitetyn ennusteen mukaan kennojen hinta laskee vuoteen 2020 mennessä arvoon 150 \$/kWh. Vastaavan vuoden arvioitu hinta autoteollisuuden akkujärjestelmille on 246 \$/kWh, joka tarkoittaa että 61% hinnasta koostuu akkukennoista ja loput 39% hinnasta syntyy moduulien rakentamisesta ja varauksenhallintajärjestelmästä. Vuonna 2016 vastaava kennojen osuus autojen akkujärjestelmien hinnasta oli 55%.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuten kuvasta 2.1 voidaan havaita, ovat suuremman kapasiteetin tuotantolaitokset keskittyneet Aasiaan. Seuraavaksi eniten valmistuskapasiteettia on Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Lukujen 3 ja 4 perusteella voidaan todeta, että suurin osa litium-ioniakkujen raaka-aineista sekä niiden nykyisestä tuotannosta sijaitsee sellaisissa maissa, joissa ei ole merkittävää litium-ioniakkujen valmistuskapasiteettia. Poikkeuksena on kuitenkin Kiina, jolla on omaa litiumin, grafiitin ja mangaanin tuotantoa. Kaikki merkittävimmät litium-ioniakkuvalmistajat ovat siis tuontiriippuvaisia ainakin osalle raaka-aineista.

Kun verrataan suunnitteilla olevia tehtaita nykyisiin tehtaisiin, voidaan huomata, että tuotantolaitosten kapasiteetti on suuressa kasvussa. Tämä vaikuttaa tuotantokustannuksien laskuun. Kuvasta 5.1 nähdään litium-ioniakkujen hinnan kehitys vuosina 2010-2016. Vuosittainen hinnan lasku on ollut tähän asti 7-35 % vuodessa.



Kuva 5.1. Litiumion akkujen hinnankehitys \$/kWh. (Curry 2017)

Markkinatutkimusten perusteella litium-ioniakkujen hinnat tulevat laskemaan ainakin vuoteen 2025 asti (KPMG 2018). Ennusteeseen liittyy luonnollisesti myös paljon epävarmuutta, jota aiheuttavat raaka-aineiden mahdolliset hinnan muutokset. Litium-ioniakkujen hintakehitys on erityisen altis raaka-aineiden hinnan vaihteluille tuontiriippuvuuden takia. Esimerkiksi poliittiset päätökset, kuten raaka-aineiden kaupankäynnin rajoittaminen tai lisätullit vaikuttavat hinnan kehitykseen. Eniten hinnan kehittymiseen vaikuttaa kobolttin hinta. Lisäksi epävarmuutta sisältää markkinatutkimusten oletukset tehtaiden skaalautumishyödyistä ja ennusteet sähköajoneuvojen yleistymisestä.

6. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää kirjallisuustyön muodossa litium-ioniakkujen valmistuskapasiteetit ja tuotantopaikat sekä raaka-aineiden hankintapaikat. Selvityksen perusteella saatiin käsitys litium-ioniakkujen valmistuskapasiteetista koko maailmassa. Lisäksi saatiin selville valmistuskapasiteetin maantieteellinen jakaantuminen. Suurimpien valmistajien tehtaita kartoitettiin maittain, mutta täydellisen listauksen tekeminen käytettävissä olevilla resursseilla ei ollut mahdollista, koska valmistajat eivät monessa tapauksessa kerro julkisuuteen tehtaiden tarkkoja valmistuskapasiteetteja. Lisäksi osa valmistajista kertoo tehtaiden valmistavan litium-ioniakkuja, mutta he eivät välttämättä tarkenna onko kyse litium-ioniakkukennojen valmistuksesta, vai esimerkiksi akkupakettien kokoonpanosta. Tehtaat, joista oli saatavilla vain edellä mainitun tapaista tietoa, on jätetty pois maakohtaisesta kartoituksesta.

Kartoituksen perusteella eniten valmistuskapasiteettia on Kiinassa. Seuraavaksi suurimmat valmistuskapasiteetit ovat Etelä-Koreassa, Yhdysvalloissa ja Keski-Euroopassa. Merkittävimmät raaka-aineiden hankintapaikat taas sijaitsevat selvityksen perusteella Chilessä, Brasiliassa, Australiassa, Kongossa, Etelä-Afrikassa, Argentiinassa ja Kiinassa. Raaka-aineiden tuotanto ja reservit ovat siis pääasiassa keskittyneet eri maihin kuin litium-ioniakkujen valmistus. Tästä aiheutuu tuontiriippuvuutta valmistajille, mikä voi myös vaikuttaa litium-ioniakkujen hinnan kehitykseen.

Litium-ioniakkujen hinnat ovat laskeneet kuluvalle vuosikymmenellä yhteensä noin 82 %. Litium-ioniakkukennojen hinnat ovat markkinatutkimuksen (Deutsche Bank) mukaan tällä hetkellä keskimäärin noin 160 \$/kWh ja litium-ioniakkupakettien hinnat noin 231 \$/kWh. Litium-ioniakkupakettien hintojen ennustetaan laskevan noin 100 \$/kWh tasolle vuoteen 2025 mennessä.

LÄHTEET

- (Altairnano) Altairnano. 70 Amp Hour Cell. Nano lithium titanate battery cell. [Verkkodokumentti]
Saataavissa: <http://altairnano.com/products/70-amp-hourcell/>
[Viitattu 14.3.2018]
- (Battery University 2018) Battery university. Types of Lithium-ion, 2018.
Saataavissa: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion
[Viitattu 12.4.2018]
- (Chen 2013) Chen, A., 2013. ETA: Sulfur-graphene oxide material for lithium-sulfur battery cathodes. [Verkkodokumentti]
Saataavissa: <https://eta.lbl.gov/news/article/56320/sulfurgraphene-oxide-material-for-lithium-sulfur-battery-cathodes>
[Viitattu 9.10. 2017]
- (Curry 2017) Curry, C., 2017. Lithium-ion Battery Costs and Market. Bloomberg. [Verkkodokumentti]
Saataavissa: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>
[Viitattu 10.12.2017]
- (Deutsche Bank 2016) Park S., Taguchi H, 2016. Deutsche Bank. Markets research. EV battery makers. [Verkkodokumentti] Saataavissa: <https://rocktechlithium.com/wp-content/uploads/2016/11/Deutsche-Bank-Lithium-Research.pdf>
[Viitattu 4.4.2019]
- (Enertech 2018) Enertech international, 2018. Litium ion polymer battery. [Verkkodokumentti]
Saataavissa: http://enertechint.com/?page_id=69
[Viitattu 10.5.2018]
- (European Batteries) European Batteries. European Batteries EB 45Ah datasheet. [Verkkodokumentti]
Saataavissa: http://www.europeanbatteries.com/upload/files/1_AS-84_3210_eb_datasheet_1-3-1.pdf
[Viitattu 3.4.2018]
- (Helbig 2018) Helbig, C., Bradshaw A.M., Wietschel L., 2018. Supply risks associated with lithium-ion battery materials. Journal of Cleaner Production. [Verkkodokumentti]
Saataavissa: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0959652617324228?via%3Dihub#bib28>
[Viitattu 10.9.2018]

- (Holliday 2015) Holliday C.O, 2015. The Bridge. National academy of engineering. [Verkkodokumentti]
Saatavissa: <https://www.nae.edu/File.aspx?id=134071>
[Viitattu 15.2.2018]
- (Kankare 2017) Kankare, M. 2017. Autotehtaan akkuvalmistus alkoi – ensimmäiset akut avantin kuormaajaan. [Verkkodokumentti]
Saatavissa: <https://www.talouselama.fi/uutiset/autotehtaanakkuvalmistus-alkoi--ensimmaiset-akut-avantin-kuormaajaan/001a0077-0c67-3be2-9bb6-c132a8f18ce6>
[Viitattu 8.10.2017]
- (Kauppalehti 2018) Kauppalehti, 2018. Yritystiedot: European Battery Technologies Oy. [Verkkodokumentti]
Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/european+battery+technologies+oy/26014216>
[Viitattu 31.3.2018]
- (Keliber 2017) Keliber, 2017. Mineraalivarantoarvio 20.6.2017. [Verkkodokumentti]
Saatavissa: <https://www.keliber.fi/geologia/mineraalivarannot-ja-malmivarat/>
[Viitattu 20.2.2018]
- (Kopier 2017) Kopier, M. 2017. Battery technology and vehicle investments continue to expand. [Verkkodokumentti]
Saatavissa: <http://www.oemoffhighway.com/electronics/powersystems/batteries-capacitors/article/20970294/battery-technology-and-vehicle-investments-continue-to-expand>
[Viitattu 10.02.2018]
- (Kossila 2019) Kossila E. 2019. Valmet Automotive suunnittelee akkujen suursarjatuotantoa Saloon – työllistäisi satoja henkilöitä. [Verkkodokumentti]
Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10666698>
[Viitattu 26.3.2019]
- (KPMG 2018) KPMG, 2018. Electric vehicles – industry focus. [Verkkodokumentti]
Saatavissa: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/th/pdf/2018/02/th-electric-vehicles-industry-focus.pdf>
[Viitattu 11.11.2018]
- (Manthey 2018/1) Manthey, N. 2018. CATL and BYD rise to join world’s top 3 battery makers. [Verkkoartikkeli]
Saatavissa: <https://www.electrive.com/2018/06/06/catl-bydrise-in-rank-to-join-worlds-top-3-battery-makers/>
[Viitattu 2.10.2018]

- (Manthey 2018/3) Manthey, N. 27.11.2018. Webasto & A123 building batteries for large EVs. [Verkkoartikkeli]
Saatavissa: <https://www.electrive.com/2018/07/09/catl-revealing-details-on-battery-factory-in-erfurt/>
[Viitattu 28.11.2018]
- (Randall 2018) Randall, C. 23.8.2018. SK Innovation to build battery cell factory in China. [Verkkoartikkeli]
Saatavissa: <https://www.electrive.com/2018/08/23/sk-innovation-to-build-battery-cell-factory-in-china/>
[Viitattu 28.11.2018]
- (Ripaoja 2017) Ripaoja, M. 21.1.2017. Akkutehtaan startista lieviä lupauksia. Warkauden lehti. [Verkkoartikkeli]
Saatavissa: <http://www.warkaudenlehti.fi/juttu/akkutehtaan-startista-lievi-lupauksia/>
[Viitattu 31.3.2018]
- (Sanderson 2018) Sanderson H. 2018. Electric cars: the race to replace cobalt. [Verkkoartikkeli]
Saatavissa: <https://www.ft.com/content/3b72645a-91cc11e8-bb8f-a6a2f7bca546>
[Viitattu 29.3.2019]
- (Shankleman 2017) Shankleman J, Biesheuvel T, Ryan J, Merril D, 2017. We're going to need more lithium. Bloomberg New Energy Finance. [Verkkodokumentti]
Saatavissa: <https://www.bloomberg.com/graphics/2017lithium-battery-future/>
[Viitattu 10.11.2017]
- (Shumin 2018) Shumin, L. 08.11.2018. Chinese auto parts firm Wanxiang to invest 10.2 USD billion in battery vehicle projects. [Verkkoartikkeli]
Saatavissa: <https://www.yicaiglobal.com/news/chineseauto-parts-firm-wanxiang-invest-usd102-billion-battery-vehicle-projects>
[Viitattu 28.11.2018]
- (Statista 2018) Statista, 2018. Cobalt composition share in selected lithium-ion battery cathodes as of 2017. [Verkkoartikkeli]
Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/655948/composition-share-of-cobalt-in-lithium-ion-battery-cathodes/>
[Viitattu 28.11.2018]

- (TerraE Holding 2017) TerraE Holding, 2017. TerraE Plans Gigafactory for Lithium Ion Cells in Germany. [Verkkodokumentti]
Saataavissa: <http://www.oemoffhighway.com/electronics/powersystems/batteries-capacitors/news/20862261/terrae-plansgigafactory-for-lithiumion-cells-in-germany>
[Viitattu 7.10.2017]
- (Terrafame 2018) Terrafame, 2018. Avainluvut tammi-joulukuussa 2017. [Verkkodokumentti]
Saataavissa: <https://www.terrafame.fi/ajankohtaista/uutiset/2018/01/terrafamen-liikevaihto-yli-kaksinkertaistuivuonna-2017-kayttokate-positiivinen.html>
[Viitattu 8.4.2018]
- (Tesla 2017) Tesla, 2017. Tesla Gigafactory -tehdas. [Verkkodokumentti]
Saataavissa: https://www.tesla.com/fi_FI/gigafactory?redirect=no
[Viitattu 9.10.2017]
- (USGS 2018) USGS, 2018. Mineral commodity summaries. U.S. Geological Survey. [Verkkodokumentti]
Saataavissa: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf>
[Viitattu 4.5.2018]
- (US energy goverment) Yhdysvaltojen energiainisteriö, 2017. Cost and Price Metrics for Automotive Lithium-Ion Batteries. [Verkkodokumentti]
Saataavissa: <https://www.energy.gov/eere/analysis/downloads/cost-and-price-metrics-automotive-lithium-ion-batteries>
[Viitattu 16.2.2018]
- (Toivonen 2017) Toivonen, T, Tebest T, Pietarinen E, 2017. Litium, tuo maaginen 10 grammaan, jota ilman et tule toimeen. YLE uutiset. [Verkkoartikkeli]
Saataavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9617107>
[Viitattu 8.4.2018]