



De vanligaste litiumjonbatterierna

Kemier och produktionsvolymer 2016 och framåt

2017-08-15

Mats Zackrisson

Swerea IVF

Swerea IVF erbjuder avancerade forsknings- och uppdragstjänster. Vi utvecklar och inför ny teknik och nya arbetssätt inom en rad branscher med fokus på produkt-, process- och produktionsutveckling. Vi erbjuder även djup kompetens angående material-egenskaper och applikationer för keramiska, polymera och textila material.

Målet är att snabbt få in ny teknik och nya metoder i praktisk användning hos våra kunder. Såväl enskilda företag som offentliga institutioner vänder sig till oss för att utveckla framtidens resurs-effektiva produkter och processer.

Vårt huvudkontor ligger i Mölndal och vi har lokalkontor i Eskilstuna, Jönköping, Linköping, Olofström, Stockholm och Trollhättan.

Swerea IVF AB
Box 104
431 22 Mölndal
Telefon 031-706 60 00
Telefax 031-27 61 30
www.swerea.se

Uppdragsrapport 26702-1

© Swerea IVF AB

Förord

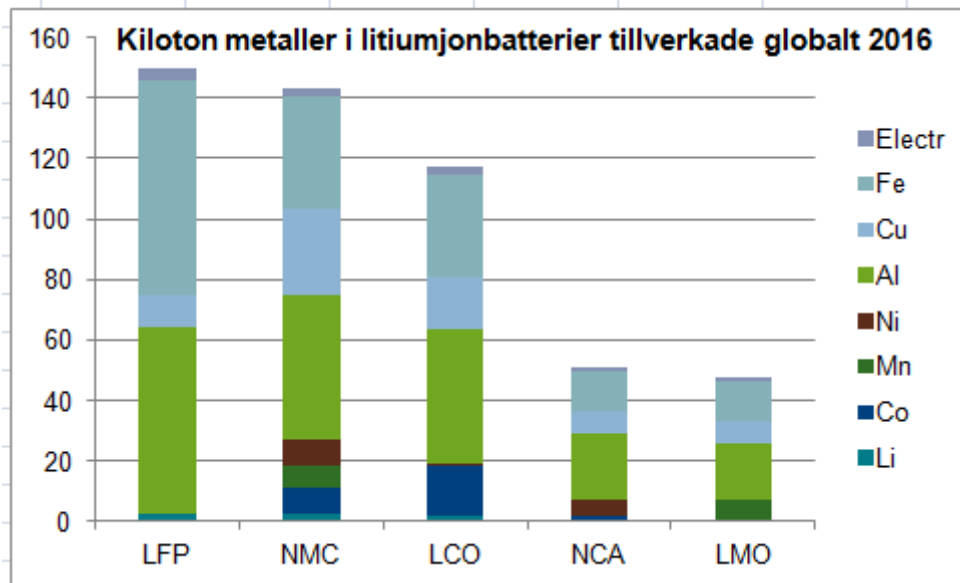
Projektet RELION, som finansieras av Energimyndigheten, skall fastställa förutsättningarna för storskalig återvinning av litiumjonbatterier. Föreliggande rapport, som utarbetats av Mats Zackrisson vid Swerea IVF, behandlar vilka de vanligaste litiumjonbatterikemierna är och hur mycket metaller det kommer att medföra i framtida återvinning.

Innehållsförteckning

Marknaden för litiumjonbatterier	4
Olika litiumjonkemier 2016	4
Litiumkemier 2025 och senare	7
Referenser	8

Sammanfattning

Projektet RELION skall fastställa förutsättningarna för storskalig återvinning av litiumjonbatterier. Utgående ifrån globala produktionsvolymen 2016 för de vanligaste litiumjonbatterikemierna har beräknats hur mycket metaller det finns att återvinna i litiumjonbatterier runt 2026 totalt i hela världen, se bild nedan.



Kiloton metall i litiumjonbatterier tillverkade globalt 2016 och potentiellt återvinningsbara 2026

LFP	Lithium iron phosphate, LiFePO_4 , battery cell
NMC	Lithium nickel manganese cobalt oxide battery cell
LCO	Lithium Cobalt Oxide
NCA	Lithium nickel cobalt aluminium oxide
LMO	Lithium Manganese Oxide
Electr	Electrolyte
Fe	Iron
Cu	Copper
Al	Aluminium
Ni	Nickel
Mn	Manganese
Co	Cobalt
Li	Lithium

Marknaden för litiumjonbatterier

Vid IBSE¹ 2017 presenterade Avicenne Energy uppdaterade resultat för batteriförsäljning och materialåtgång för 2016 (Scheers, 2017). Fördelningen av marknadsandelar för Li-jonbatterier är Kina 45%, Korea 28%, Japan 26%. De tre största företagen på Li-joncellmarknaden är: 1) Samsung 16%, 2) LG Chem 14% och 3) Panasonic 13%. Närmaste kinesiska uppstickare är (C)ATL (9%) och BYD (6%). Räknar man ihop Tesla med Panasonic så blir dock TESLA/Panasonic störst med en marknadsandel om 18%. Under 2016 gick försäljningen av Li-jonceller för transportmarknaden (Auto + e-buss, 43%) om den för portabel elektronik (40%) mätt i GWh. Råmaterial beräknas idag utgöra 50-70% av cellkostnaden: katod 22%, separator 7%, elektrolyt 6%, anod 6%.

Olika litiumjonkemier 2016

Fördelningen på olika litiumjonkemier illustreras av katodfördelningen 2016: LFP 66 kton (36%), NMC 48 kton (26%), LCO 39 kton (21%), NCA 16 kton (9%), LMO 16 kton (8%) (Scheers, 2017). I tabellen nedan finns även motsvarande värden för 2015 samt en prognos för 2025 (Scheers, 2017).

LFP, LiFePO_4 , används i E-bussar och elfordon² i Kina. Kinesiska OEM (BYD, Kandi, Zotye, Baic, Chery med flera) har dock bekräftat att de är på väg mot NMC – i alla fall för elfordon (Scheers, 2017). Beräkningarna för LFP-cellen stödjer sig på data från ett 10 kWh LFP batteri (Zackrisson, Avellán, & Orlenius, 2010). För resten av batterisystemet, dvs allt förutom cellen, stödjer sig samtliga kemier på (Ellingsen et al., 2013).

NMC, $\text{LiNi}_{0,3}\text{Co}_{0,3}\text{Mn}_{0,3}\text{O}_2$, används i elektronik och för elfordon. NMC är den för tillfället hetaste litiumjonkemin. Tesla avser att tillverka NMC för sina powerwalls³ och kinesiska biltillverkare byter till NMC, se ovan. Beräkningarna för NMC-cellen stödjer sig på data från den 33 Ahs NMC cell som används i Nissan Leaf (Zackrisson, 2017).

NCA, $\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$, utnyttjas i Panasonic/TESLAs 18650-celler och i kombination med LMO för andra elfordon. Beräkningarna för NCA-cellen stödjer sig på data från den 3,1 Ahs NCA cell som används i Tesla Model S (Zackrisson, 2017).

LCO, LiCoO_2 , dominerar fortsatt laminerade celler för smarta telefoner, paddor och ultratunna bärbara datorer. Katoden innehåller cirka 60% kobolt. Beräkningarna för LCO-cellen utgår ifrån LiCoO_2 -kemin men antar i övrigt

¹ 33rd International Battery Seminar and Exhibit (ISBE), Fort Lauderdale, 21-24 mars 2017

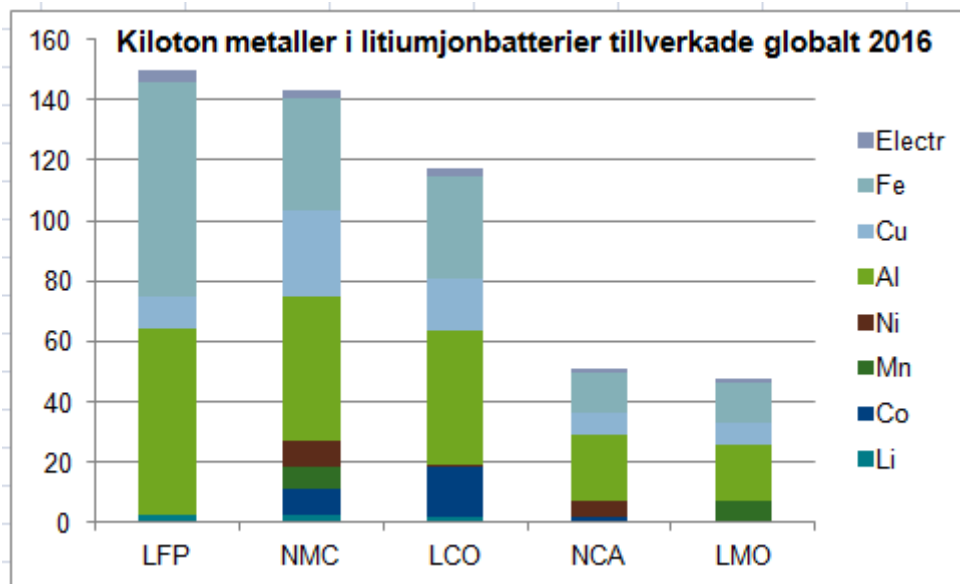
² Med elfordon avses olika typer av personbilar med eldrivlina såsom BEV, HEV och PHEV.

³ Se <http://fortune.com/2015/05/18/tesla-grid-batteries-chemistry/>

samma material och proportioner vad gäller bindemedel, anod och elektrolyt som den 3,1 Ahs NCA cell som används i Tesla Model S (Zackrisson, 2017).

LMO, LiMn_2O_4 , används främst i kombination med NMC för elfordon, men i allt mindre omfattning. Beräkningarna för LCO-cellen utgår ifrån LiMn_2O_4 -kemin men antar i övrigt samma material och proportioner vad gäller bindemedel, anod och elektrolyt som den 3,1 Ahs NCA cell som används i Tesla Model S (Zackrisson, 2017).

I bilden nedan har värdena för katodtillverkning 2016 räknats om till metaller i hela batteriet för olika kemier. Om man antar att det i medeltal tar tio år (Eurobat, 2014) innan ett drivlinebatteri återvinns, ger detta en bild av hur mycket metaller det finns att återvinna i litiumjonbatterier runt 2026 totalt i hela världen.



Figur 1 Kiloton metall i litiumjonbatterier tillverkade globalt 2016 och potentiellt återvinningsbara 2026

Litiuminnehållet 2016 utgör totalt 8,7 kiloton. Som jämförelse uppgick världsproduktionen av litium 2012 till 25 kiloton. Världens största litiumfyndighet, Atacama i Chile, har en uppskattad maximal produktionskapacitet på 500 kiloton litium årligen (Kushnir & Sandén, 2012).

Koboltinnehållet 2016 utgör 26 kton vilket kan jämföras med den prognosticerade världsproduktionen för 2010 vilken var 80 kton (Kapusta, 2006). Koboltpriset har ökat från cirka 28 \$/kg till över 50 \$/kg det senaste året, från att ha legat ganska stabilt runt 28 \$/kg de senaste fem åren⁴.

Data och beräkningar för figuren ovan redovisas i tabellen nedan. Figur 1 återger totala värden för hela batteriet vilka är kursiverade i tabellen nedan.

⁴ <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/cobalt/5-year/>

Tabell 1 Data och beräkningar av litiumjonbatteriers metallinnehåll

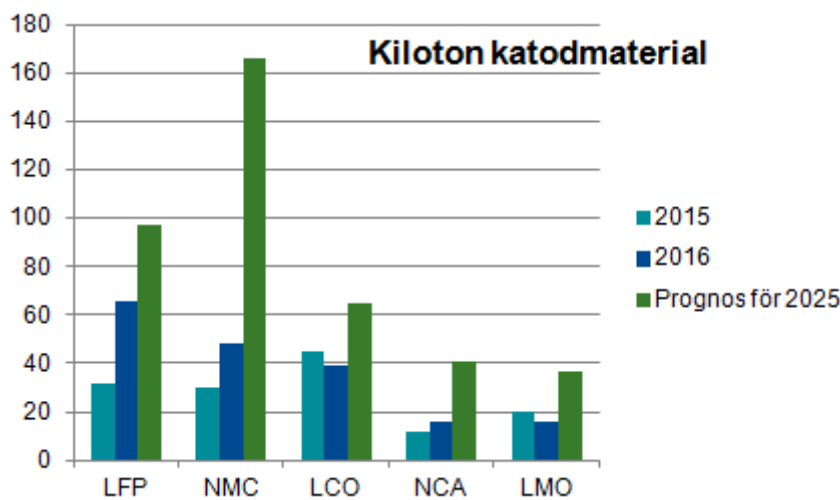
Litiumjonkemi		LFP	NMC	LCO	NCA	LMO	Totalt
Katod prognos kton 2025		97	166	65	41	37	406⁵
Katod kton 2016		66	48	39	16	16	185
Katod kton 2015		32	30	45	12	20	139
% katod i cell		51	43	38	38	38	Totalt
Metaller i katod 2016 (kton)	Li	2,5	2,9	2,0	0,83	0,44	8,7
	Fe	20					20
	Co		8,2	17	1,0		26
	Mn		7,6			6,9	15
	Ni		8,2		5,6		14
	Al	2,5	5,5		3,3		11
% rest av cell		49	57	62	62	62	Totalt
Metaller i resten av cellen 2016 (kton)	Cu	6,1	25	14	5,8	5,8	57
	Al	0,93	0,22	6,3	2,6	2,6	13
	Ni		0,29	0,23	0,09	0,09	0,70
% rest-of-pack		50	50	50	50	50	Totalt
Metaller ⁶ i rest-of-pack 2016 (kton)	Al	58	42	38	16	16	170
	Fe	51	37	33	14	14	148
	Cu	4,9	3,6	3,2	1,3	1,3	14
	Elektro nik	4,0	2,9	2,6	1,1	1,1	12
Totalt metaller ⁶ i hela batteriet 2016 (kton)	Li	2,5	2,9	2,0	0,83	0,44	8,7
	Co		8,2	16,8	1,0		26
	Mn		7,6			6,9	15
	Ni		8,5	0,23	5,7	0,09	14
	Al	62	48	45	22	18	194
	Cu	11	28	17	7,1	7,1	71
	Fe	71	37	33	14	14	168
	Elektro nik	4,0	2,9	2,6	1,1	1,1	12
Totalt metaller ⁶ 2016 (kton)		150	143	117	51	48	509
Totalt batteri 2016 (kton)		257	224	203	83	83	850
Totalt metaller ⁶ /katodmaterial		2,3	3,0	3,0	3,2	3,0	

⁵ Bygger på antagandet att kton katodmaterial ökar i takt med ökningen av elfordon som var 2,6 miljoner fordon 2015 och prognosticeras (Scheers, 2017) till 7,6 miljoner fordon 2025: $139 \cdot 7,6 / 2,6 = 406$ kton. Prognos för fördelningen av katodmaterial 2025 från (Scheers, 2017).

⁶ Metaller inklusive elektronik

Litiumkemier 2025 och senare

Fördelningen av katodmaterial 2025 förväntas vara: NMC (41%), LFP (24%), LCO (16%), NCA (10%) och LMO (9%) (Scheers, 2017). Om man antar att mängden katodmaterial ökar i takt med ökningen av elfordon som var 2,6 miljoner fordon 2015 och prognostiseras (Scheers, 2017) till 7,6 miljoner fordon 2025 så kommer det totalt att behövas $139 \cdot 7,6 / 2,6 = 406$ kton katodmaterial 2025, se Figur 2 nedan. Notera att förhållandet mellan massan av metaller inklusive elektronik och massan av katodmaterial är runt 3 för de flesta kemierna, utom för LFP där förhållandet är 2,3. Se understa raden i Tabell 1 ovan.



Figur 2 De vanligaste litiumkemierna 2015, 2016 och 2025 i kiloton katodmaterial

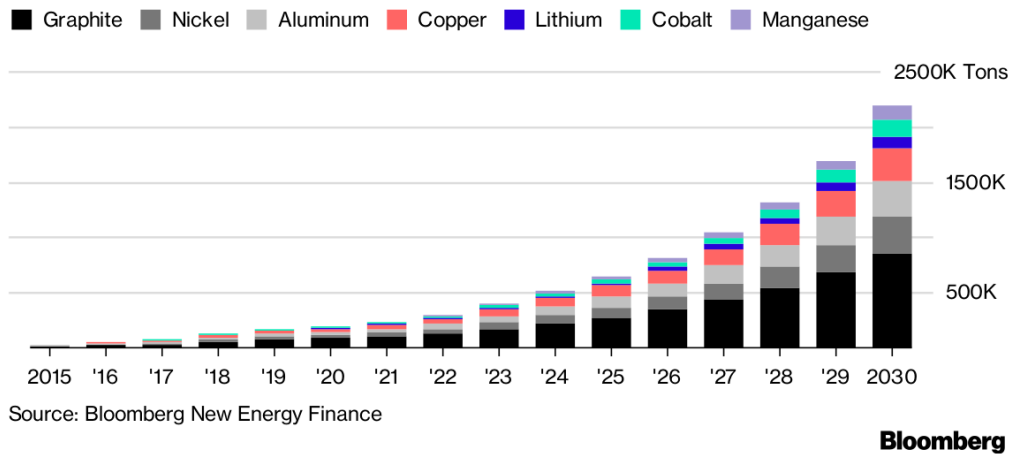
Som nämns ovan förväntas NMC ersätta LFP i Kina på grund av högre statliga krav på energidensitet. Samtidigt finns indikationer på att LFP kan bli den litiumjonkemin med lägst pris per kWh, men då framförallt för stationära tillämpningar på grund av den lägre energitätheten (Renard, 2014). NMC har dock billigare material än NCA (mer nickel och mindre kobolt) och cellen har en längre livslängd än både NCA och LFP.

Att prognosticera och räkna längre fram i tiden är mycket osäkert. När och om Kalifornien, bortom 2050, får en helt elektrifierad bilflotta med 200 kg batterier i varje bil så beräknar (Hendrickson, Kavvada, Shah, Sathre, & D Scown, 2015) att detta resulterar i ett avfallsflöde på 620–890 kiloton enbart på den marknaden. Om dagens kemier speglar framtidens någotsånär så innehåller dessa då $509/850 = 60\%$ metaller inklusive elektronik.

Bloomberg (Bloomberg, 2017) uppskattar att elbilarnas inträde på marknaden kommer att omforma metallmarknaden väsentligt på sikt, se deras uppskattning av framtida metallbehov för elbilars litiumjonbatterier i Figur 3 nedan.

Demand Surge

Global metals and materials demand from EV lithium-ion batteries



Figur 3 Metaller för litiumjonbatterier för fordon

Referenser

- Bloomberg. (2017). Electric-Car Revolution Shakes Up the Biggest Metals Markets. Retrieved from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-08-02/electric-car-revolution-is-shaking-up-the-biggest-metals-markets>
- Ellingsen, L. A., Majeau-bettez, G., Singh, B., Srivastava, A. K., Valøen, L. O., & Strømman, A. H. (2013). Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack, *18*(1), 113–124. <http://doi.org/10.1111/jiec.12072>
- Eurobat. (2014). *A review of battery technologies for automotive applications*.
- Hendrickson, T. P., Kavvada, O., Shah, N., Sathre, R., & D Scown, C. (2015). Life-cycle implications and supply chain logistics of electric vehicle battery recycling in California. *Environmental Research Letters*, *10*(1), 14011. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/014011>
- Kapusta, J. P. T. (2006). Cobalt production and markets: A brief overview. *Jom*, *58*(10), 33–36. <http://doi.org/10.1007/s11837-006-0198-2>
- Kushnir, D., & Sandén, B. a. (2012). The time dimension and lithium resource constraints for electric vehicles. *Resources Policy*, *37*(1), 93–103. <http://doi.org/10.1016/j.resourpol.2011.11.003>
- Renard, F. (2014). 2020 cathode materials cost competition for large scale applications and promising LFP best-in-class performer in term of price per kWh. *International Conference on Olivines for Rechargeable Batteries*.
- Scheers, J. (2017). Global försäljning av uppladdningsbara batterier 2016. Retrieved July 20, 2017, from <http://omev.se/?p=1539>

Zackrisson, M. (2017). *Life cycle assessment of long life lithium electrode for electric vehicle batteries - cells for Leaf, Tesla and Volvo Bus.*

Zackrisson, M., Avellán, L., & Orlenius, J. (2010). Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles - Critical issues. *Journal of Cleaner Production*, 18(15), 1517–1527. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VFX-50B5PJ2-1/2/294cf8e2d66a0696536eddba5a51c55b>