



EXAMENSARBETE INOM TEKNIK

GRUNDNIVÅ, 15 HP

# **Litiums livscykel i batterier för eldrivna personbilar**

En kartläggning av livscykeln för litium i fordonsbatterier med fokus på återvinning och återvunnet litium

**HANNAH BAJRAMI OCH SEBASTIAN ISSA**

# Litiums livscykel i batterier för eldrivna personbilar

En kartläggning av livscykeln för litium i fordonsbatterier med fokus på återvinning och återvunnet litium



Hannah Bajrami & Sebastian Issa

MG110X Examensarbete inom Industriell Produktion 2023

KTH Industriell teknik och management

Institutionen för produktionsutveckling

SE-100 44 Stockholm

Bild på titelsida är hämtad från hemsidan *freepik*, 2023-04-19  
<https://www.freepik.com>

## Sammanfattning

Denna kandidatuppsats undersöker livscykel för återvunnen litium i elbilsbatterier, med fokus på återvinningsprocessen och dess miljöpåverkan vid olika stadier i dess livscykel. Målet är att få insikt i miljöeffekterna från främst litium, men också andra värdefulla material i elbilsbatterier, samt hur deras utvinning, användning och återvinning påverkas av politiska riktlinjer och regler.

Olika tekniker för återvinning av batterimaterial undersöks, såsom pyrometallurgi, hydrometallurgi och direktåtervinning. Dessa jämförs sedan med avseende på miljökonsekvenser, effektivitet och säkerhet. Påverkan av politik och regleringar på batteriåtervinning analyseras, mer specifikt de riktlinjer som ges av Europeiska unionen inom ramen för Green Deal.

Resultatet från vår litteraturstudie bekräftades av en intervju med en representant från Northvolt. Litteraturstudierna har bidragit med mycket information då det finns omfattande forskning inom området, men då många av dessa artiklar har liknande perspektiv fanns det brist på mer nyanserade studier. Intervjun med Northvolt gav också värdefulla insikter i hur företag arbetar med att minska miljöpåverkan.

Sammanfattningen visar studien på att de vanligaste återvinningsmetoderna medför både positiva och negativa konsekvenser på återvunnen litiums livscykel. Den har också visat på att det finns politiska direktiv som har fått företag att prioritera sitt hållbarhetsfokus. Följaktligen har företag som redan integrerat hållbarhet som grundvärdering en fördel gentemot de konkurrenter som istället behöver anpassa sig till nya riktlinjer och policys.

*Nyckelord: återvunna litiumjonbatterier, återvunna EV-batterier, LCA litium, litiumåtervinningsprocesser*

## Abstract

This bachelor's thesis explores the lifecycle of recycled lithium in electric vehicle (EV) batteries, with a focus on lithium recycling and its environmental impact at different stages of recycled lithium's lifecycle. The objective is to gain insight into the environmental effects of primarily lithium but also other valuable materials in EV batteries as well as how their extraction, usage and recycling is influenced by political guidelines and regulations.

The extraction process of lithium is examined, along with its impact. Additionally, various techniques for battery material recycling are investigated, such as pyrometallurgy, hydrometallurgy and direct recycling. These are then compared with each other in terms of environmental consequences, efficiency, and safety. The impact of policies and regulations on battery recycling is analyzed, specifically the guidelines provided by the European Union in the Green Deal.

The literature review work was reinforced by an interview with a representative from Northvolt. These reviews have been beneficial due to the extensive research in the field, although a limitation is the lack of diverse perspectives in the articles. The interview with Northvolt provided insights into how companies are working to reduce environmental impact.

In conclusion, this thesis shows that the most commonly used extraction methods of lithium have both positive and negative consequences on the life cycle of recycled lithium. Furthermore, findings of this thesis shows that there are political directives which have prompted companies to prioritize their sustainability focus. Consequently, companies that have already integrated sustainability as a core value have a competitive advantage over their counterparts who need to adjust to new guidelines and policies.

*Keywords: recycled lithium-ion batteries, recycled EV-batteries, LCA lithium, lithium recycling processes*

## **Förord**

Detta kandidatexamensarbete genomfördes våren 2023 av Hannah Bajrami och Sebastian Issa inom inriktningen Industriell Produktion på utbildningsprogrammet Design och Produktframtagning på Kungliga Tekniska Högskolan.

Vi vill tacka vår handledare, Ove Bayard, för att ha väglett oss genom arbetet och hjälpt oss över de hinder vi mött längs vägen.

Vi vill även tacka Anders Ekwall på Northvolt som tog sig tid och ställde upp på en intervju med oss.

Stockholm, juni 2023.

Hannah Bajrami & Sebastian Issa

## Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b> .....	1
<b>1.1. Bakgrund</b> .....	1
<b>1.2. Syfte &amp; Frågeställning</b> .....	1
<b>1.3. Avgränsningar</b> .....	2
<b>1.4. Metod</b> .....	2
<b>2. Teori</b> .....	3
<b>2.1. Utvinningsprocessen för litium</b> .....	3
<b>2.2. Batteriets uppbyggnad i eldrivna fordon</b> .....	5
<b>2.3. Tillverkningen av litiumjonbatterier</b> .....	6
<b>2.4. Återvinningsprocesser</b> .....	8
<b>2.5. Samhälle - politik, policys och regler</b> .....	12
<b>2.6. Miljöpåverkan baserat på geografisk position</b> .....	13
<b>3. Intervju</b> .....	15
<b>4. Resultat</b> .....	17
<b>4.1. Livscykeln för återvunnet litium</b> .....	17
<b>4.2. Metaller som utvinns vid batteriåtervinning</b> .....	18
<b>4.3. Politiska direktiv som uppmanar återvinning av litium</b> .....	19
<b>5. Diskussion &amp; slutsats</b> .....	20
<b>6. Källförteckning</b> .....	22
<b>Bilaga - A</b> .....	A

# 1. Inledning

## 1.1. Bakgrund

Samhället idag går mot en elektrifierad framtid, och bakgrunden till detta arbete är att ta reda på hur miljön påverkas av detta. En stor faktor är den kraftigt växande elektrifieringen av fordonsindustrin, alltså den pågående övergången från förbränningsmotorer till elmotorer. För att driva denna elektrifiering av fordon, som till exempel bilar, behövs någon sorts energiförvaring: batterier. En växande elektrifiering av samhället leder således till en ökad efterfrågan av batterier och det är därför viktigt att ta reda på hur detta kommer att påverka miljön vi lever i.

Arbetet kommer att utföras i form av en kartläggning av återvinning och återanvändning av litiumjonbatterier inom fordonsindustrin med syfte att ta vara på svårutvunna metaller. Återvinning är något som i allmänhet är viktigt för att ta vara på de ändliga resurser som finns och vid återvinning av batterier är det intressant att veta vilken metod som ger bäst resultat med minst miljöpåverkan. Kartläggningen kommer dessutom att ta hänsyn till politiska direktiv som incitament till företag att satsa mer på batteriåtervinning.

## 1.2. Syfte & Frågeställning

Syftet med detta arbete är att kartlägga hur livscykeln för litium i elfordonsbatterier ser ut, hur dessa påverkar miljön och hur politiken bidrar till att minska denna miljöpåverkan. Fokus kommer att vara på slutet av livscykeln, mer specifikt återvinningsprocesserna.

### *Huvudfråga:*

- Hur ser livscykeln ut för återvunnet litium som används i elfordon?

### *Underfrågor:*

- Vilka andra metaller går att utvinna vid batteriåtervinning?
- Finns det politiska direktiv som uppmanar återvinning av batterier?



### 1.3. Avgränsningar

De avgränsningar som valts i detta arbete är att lägga huvudfokus på just litiumet i elfordonsbatterier, då detta är den grundläggande byggstenen i litiumjonbatterier som är den vanligaste batteritypen i elfordon idag.<sup>[1]</sup> Andra metaller som vanligtvis förekommer i dessa batterier nämns, men utan större fördjupning för att arbetet inte ska bli för omfattande. Det har även valts att fokusera på återvunnet litium, det vill säga att litiumet som hamnar på deponi tas inte upp i detta arbete. Dessutom tas det inte upp om litiumjonbatterier som hamnar i ett så kallat **Second Life**: batterier som inte längre går att använda i fordonsindustrin, men som fortfarande har en tillräckligt hög kapacitet för att användas i andra energilagringssammanhang.<sup>[2]</sup> Dessa avgränsningar har valts för att kunna utföra arbetet inom den givna tidsramen.

### 1.4. Metod

Under detta kapitel kommer tillvägagångssättet för detta arbete att redovisas och det bestämdes att utgå från litteraturstudier och att hålla en intervju med ett relevant företag.

#### 1.4.1. Litteraturstudier

Arbetet förlitar sig till stor del på litteraturstudier. Detta valdes för att ämnet arbetet innefattar är noggrant studerat och är under konstant forskning, vilket innebär att det finns tillgång till många olika källor som är av hög relevans. Majoriteten av källorna har valts ut med hjälp av verktyget Scopus via KTH:s bibliotek, som gjort det möjligt att hitta de vetenskapliga artiklar som använts under arbetets gång. På Scopus är det även möjligt att se vilka andra källor som använt sig av artiklarna samt vilka andra källor som använts. Detta gör det möjligt att hitta andra källor som är relevanta, men som fokuserar på andra punkter. Vilket i sin tur gör det möjligt att utöka sökområdet. Det förekommer även källor som plockats från andra hemsidor än Scopus och dessa har kontrollerats noggrant.

#### 1.4.2. Intervju

Förutom litteraturstudier valdes det att nå ut till relevanta företag för att kunna intervjua personer som arbetar med batteriåtervinning inom fordonsindustrin. Intervjun har genomförts med en representant på Northvolt, ett företag som har hållbarhet som huvudmål och som har återvunnet material i fokus. Northvolt samarbetar med flera fordonsföretag som till exempel Polestar, för att utveckla framtidens elfordonsbatterier. Intervjun genomfördes genom att en del intervjufrågor förbereddes innan och intervjun hölls därefter på Northvolts kontor på Kungsholmen med Anders Ekwall som arbetar som Director, Business Control på BU Active Materials & Revolt.

## 2. Teori

I detta kapitel kommer den teori som anses nödvändig för att kunna svara på frågeställningen tas upp och sammanställas.

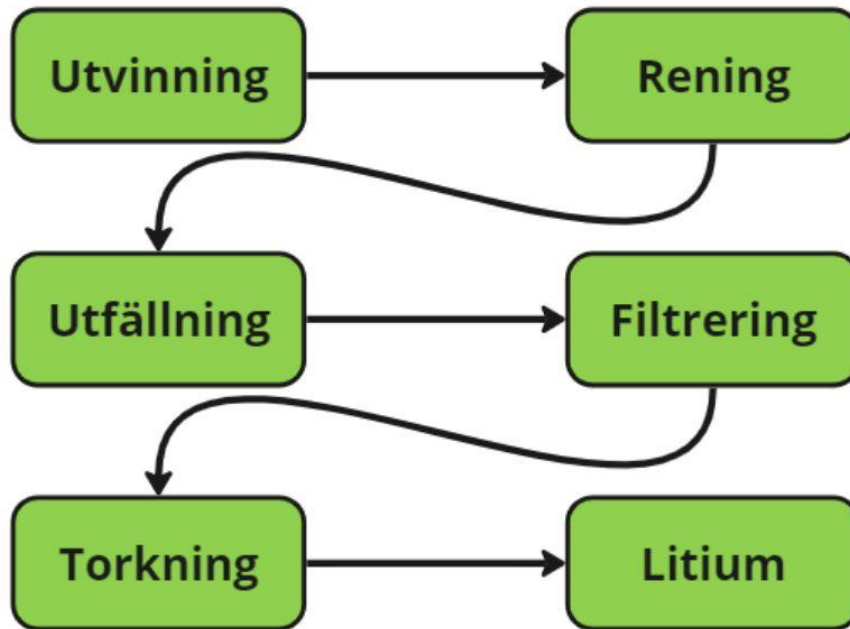
### 2.1. Utvinningsprocessen för litium

Den vanligaste utvinningsmetoden för litium är utvinning ur saltlösning. Litium utvinns ur saltlösningar från underjordiska reservoarer i bland annat Sydamerika, främst i den så kallade Litiumtriangeln (Argentina, Chile och Bolivia).<sup>[3]</sup>

Litium kan också utvinnas ur stenkällor. Processen för detta innefattar granulering av stenkällan innehållande litium och därefter behandlas granulatet med diverse kemikalier för att separera och utvinna litiumet. Dessa typer av metoder är mer resurskrävande både monetärt och tidsmässigt. I denna rapport kommer fokus främst ligga på utvinningen från saltlösning.

Processen för utvinning ur lösning förklaras nedan och illustreras i figur 1.<sup>[4]</sup>

1. **Utvinning:** Saltlösningen pumpas upp från källan till ytan och transporteras vidare till avdunstningsbassänger utomhus. Över tid leder exponeringen av sol till att vattnet i lösningen avdunstar och efterlämnar en lösning med höga koncentrationer av litium.
2. **Rening:** Reningsstegets funktion är att avlägsna föroreningar innehållande mineraler som magnesium, kalcium och natriumklorid. Detta görs genom att behandla lösningen med natriumkarbonat och kalk, vilka bildar fällningar ihop med oönskade ämnen i lösningen som sedan lättare kan separeras och avlägsnas.
3. **Utfällning:** Litiumet separeras från den återstående lösningen genom att omvandla de lösta litiumjonerna till fast form för att underlätta separationen. En reagens (natriumkarbonat eller natriumhydroxid) tillsätts och reagerar med litiumet genom att bilda fällningen litiumkarbonat.
4. **Filtrering:** Litiumfällningen behöver avlägsnas från den övriga lösningen. Genom att låta lösningen passera genom filtreringsapparater såsom filterpressar, vakuumfilter eller centrifuger. Den fasta litiumkarbonatfällningen fastnar på filtret och resterande lösningen faller igenom. Därefter tvättas fällningen för att avlägsna eventuella föroreningar.
5. **Torkning:** Slutligen torkas litiumkarbonaten och slutprodukten blir ett pulver.



*Figur 1: Processen för utvinning av litium ur saltvattenkälla.*

### **2.1.1. Miljöpåverkan vid utvinning av litium ur saltvatten**

Ökad användning av mer miljövänliga energikällor (exempelvis batterier) över alternativ med större miljöpåverkan är i jämförelse av användningsfasen positiv. Hela cykeln behöver analyseras och jämföras för en korrekt bedömning av energikällors miljöpåverkan, och i avsnitt 2.6. står det mer om hur olika länders elproduktion ser ut. Utvinningen av litium ur saltvatten är en nödvändig process för produktionen av litiumbatterier till elektronik och elektriska fordon, men den är inte helt utan konsekvenser för miljö, människa och ekosystem.<sup>[5]</sup>

Litiumutvinning kräver stora mängder vatten vilket kan leda till vattenbrist, speciellt då utvinningen ofta sker i områden med redan begränsade vattenresurser. Detta påverkar både människor och ekosystem runt om som är beroende av dessa vattenkällor.

Utvinningsprocessen kräver användning av kemikalier som kan vara skadliga ifall avfallshandlingen av dessa inte hanteras korrekt. Processen kräver också stor yta vilket gör att markområden som drabbas kan komma att påverkas till den grad att det leder till habitatförlust och leder till en negativ påverkan på den biologiska mångfalden i det området.

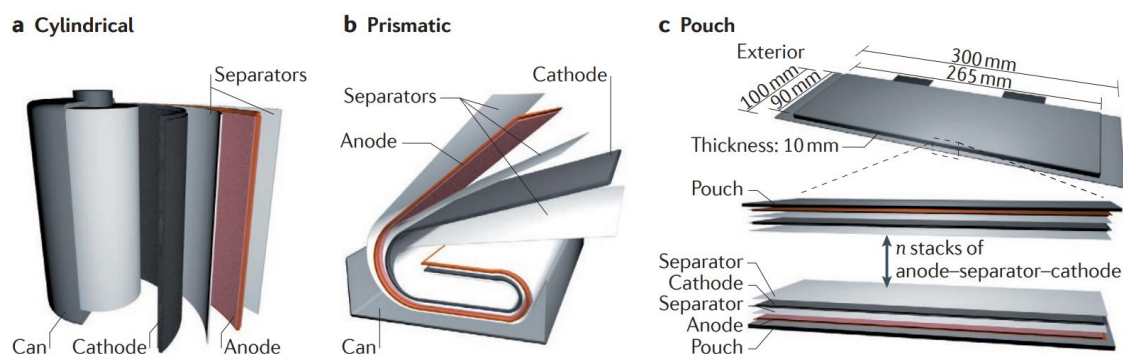
Även områden som ligger bortom själva siten för utvinning kan påverkas av processen då den skapar betydande koldioxidutsläpp. Minskning av koldioxidutsläpp är en anledning till att litiumbatterier föredras då de under användning inte avger något utsläpp, men det är viktigt att ta i beaktning de koldioxidutsläpp som orsakas vid utvinning och produktion.

## 2.2. Batteriets uppbyggnad i eldrivna fordon

Eldrivna bilar använder sig av så kallade batteripack. Ett batteripack är uppbyggt av ett antal moduler, eller batterier, som i sin tur är uppbyggda av celler. Det finns olika typer av battericeller att jobba med när det kommer till litiumjonbatterier. I fordonsindustrin är det vanligast att stöta på någon av dessa tre typer:

- *Cylindriska*
- *Prismatiska*
- *Pouches*

Dessa kan ses nedan i figur 2. De tre olika cellerna fungerar på samma sätt, men kommer i olika utföranden. Cylindriska och prismatiska använder samma typ av princip: långa remsor av anoder, katoder och separatorer som rullas eller vikas ihop för att sedan stoppas in i en behållare. Pouches använder också remsor av material men i stället för att vikas eller rullas staplas ett antal lager ovanpå varandra.<sup>[6]</sup>



**Figur 2:** De tre vanligaste battericellerna som används i batteripack till elbilar: **a** Cylindrisk, **b** Prismatisk och **c** "Pouch". Hämtad från artikeln: "Promise and reality of post-lithium-ion batteries with high energy densities"<sup>[6]</sup>

Förutom att cellerna kan se ut på olika sätt så kan katoden i cellerna även ha olika kemiska sammansättningar för att få varierande egenskaper, som till exempel energitäthet, cyklisk livslängd, kalenderliv med mera. De olika kemiska sammansättningarna som finns i litiumjonbatterier idag kan ses i tabell 1 nedan, där LCO är den första kommersiella katoden i litiumjonbatterier och NMC är den senaste.<sup>[7]</sup> Förkortningarna är ett sätt att identifiera vilken kemisk komposition som används och står för de metaller som skiljer dem åt från varandra, till exempel LCO som står för Litium [Li] Kobolt [Co] Oxider [O] och NMC som står för Nickel [Ni] Mangan [Mn] Kobolt [Co]. I tabellen visas det även att NCA och NMC katoderna varierar i mängden av dessa metaller som används. I NMC varierar mängden kobolt utifrån hur mycket nickel och mangan som används. NMC-111 är en katod med lika mycket nickel som mangan som kobolt, och detta utvecklas mer och mer för att använda så lite kobolt som möjligt. Den senaste NMC-varianten, 811, är då åtta delar nickel till en del mangan och en del kobolt.

**Tabell 1:** Tabell över de olika kemiska sammansättningarna av katodmaterial som används i litiumjonbatterier idag och deras förkortningar som används för att särskilja dem åt.

Kemisk sammansättning	Förkortning	Betydelse
$\text{LiCoO}_2$	LCO	Litium Kobolt Oxid
$\text{LiFePO}_4$	LFP	Litium Järn Fosfor
$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	LMO	Litium Mangan Oxid
$\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{O}_2$	NCA	Nickel Kobolt Aluminium
$\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$	NMC	Nickel Mangan Kobolt

I bilaga A finns även en sammanfattande jämförelse mellan batteritypernas egenskaper utifrån de kemiska sammansättningarna. Det finns även en illustrerande bild på den kemiska strukturen i katodmaterialet.

### 2.3. Tillverkningen av litiumjonbatterier

Tillverkningen av en battericell börjar med elektrod-tillverkningen. Denna börjar med att metallerna som ska ingå i katoden blandas ner i en lösning, oftast NMP (denna används även vid direkt återvinning som beskrivs i avsnitt 2.4.3.). Samma process sker för anoden som består av grafit som löses i avjoniserat vatten och slutprodukten vid detta skede är alltså en slurry av katodmaterial och en slurry av anodmaterial.<sup>[8]</sup>

Lösningarna går sedan vidare genom rör och förvaringstankar till den delen av fabriken där nästa steg sker. I nästkommande steg i tillverkningsprocessen appliceras slurryn av katodmaterial på båda sidorna av en aluminiumfolie, slurryn av anodmaterial appliceras på en kopparfolie.

Därefter fortsätter folierna med belägg av katod-och anod-slurry vidare in i ett rum som hettas upp för att torka fast belägget i metallfolien. I torkrummet förångas den lösning slurryn blandats i och de aktiva materialen fastnar på folien, den lösning katodmaterialet blandas i fångas antingen upp och återanvänds eller så används gasen genom termisk återvinning.

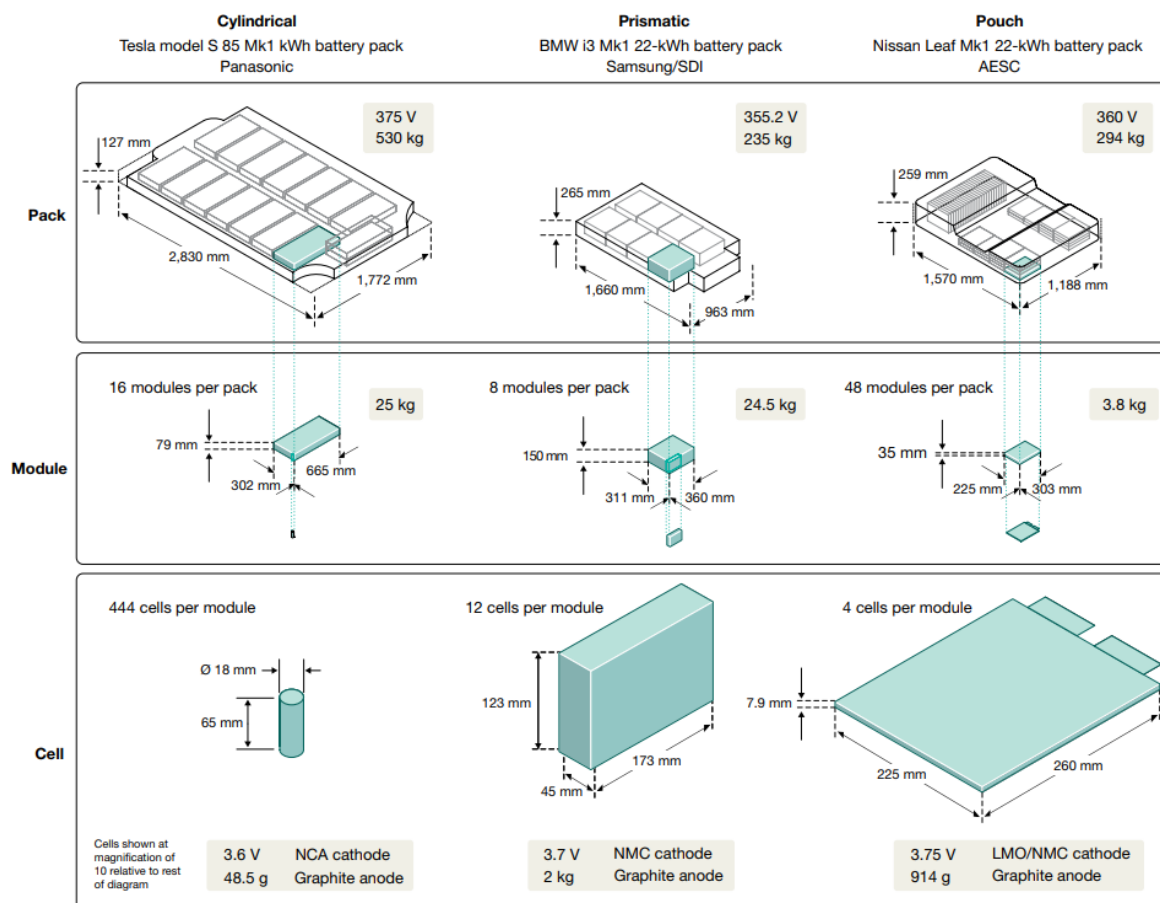
Efter att folien torkats rullas den ihop till en stor rulle, rullen förflyttas sedan för att genomgå en process som kallas för kalandring. Detta innebär att folien rullas ut längs ett antal rullar som ska hålla folien under ett visst tryck. folien blir elektrostatiskt urladdad av antingen ett luftflöde eller borstar på vardera sida, därefter dras den genom två större rullar som ger folien en önskad tjocklek varpå folien rullas ihop igen.

Rullarna rullas sedan ut ännu en gång och nu är det för att kapa ner den till så kallade "dotter-rullar". Dotter-rullarna torkas sedan under vakuum i 12–30 timmar för att få bort resterande fukt, därefter är dessa redo för cell-tillverkningen. Rullarna ser olika ut om dessa är till för

pouches gentemot prismatiska och cylindriska. Detta har att göra med att dessa staplas ihop i stället för att rullas ihop, och för att göra detta möjligt trycks det ut skivor av katod-och anodmaterial ur motsvarande rullar innan de staplas.

Tillverkningen av cellerna ser aningen olika ut men handlar i slutändan om samma steg i olika utformande. Först ska katoderna och anoderna packas ihop vilket sker genom att antingen rulla ihop eller stapla ihop, utformande av själva inandömet går att se i figur 2. Mellan elektroderna används separatorer för att undvika kortslutning, dessa är gjorda av en blandning av plaster som polyeten och polypropen. Därefter försluts denna packning i en behållare: antingen en påse, en prismatisk låda eller en cylindrisk förpackning. Dessa tre är oftast i någon form av metall, eller metallfolie när det kommer till pouch-designen. Innan dessa försluts helt fylls dessa med en elektrolyt, en lösning av litiumsalter, ofta LiPF<sub>6</sub>. Det är väldigt viktigt att detta sker i en steril miljö då litiumsalterna är väldigt reaktiva.

Efter att dessa celler har tillverkats kopplas ett antal celler ihop genom antingen serie-eller parallellkoppling, eller i vissa fall en blandning av båda för att få en önskad effekt. Detta skapar ett batteri. Därefter kopplas ett antal batterier ihop för att skapa ett batteripack som sedan kan installeras i ett elfordon. I figur 3 nedan jämförs tre batteripack från tre olika biltillverkare som använder sig av olika celldesign.



**Figur 3:** Jämförelse mellan tre olika biltillverkares batteripack som använder sig av olika celler. Hämtad från artikeln: *Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles*<sup>[7]</sup>

Vid produktionen av litiumjonbatterier är det vart elen till produktionsanläggningen kommer ifrån det som bestämmer hur miljöpåverkan vid tillverkning kommer att se ut. Produktionen kräver stora mängder energi, särskilt vid torkningsfaserna vid tillverkning av elektroderna. Den geografiska positionens påverkan tas upp i avsnitt 2.6.

## **2.4. Återvinningsprocesser**

Som det beskrivs i kapitel 2.2 kan batterier se ut på många olika sätt, både till ytan och den kemiska sammansättningen. Detta leder till att återvinningsprocesserna kan se olika ut och ger olika utfall beroende på batterierna. De tre processerna som används för litiumjonbatterier idag är pyrometallurgi, hydrometallurgi och direkt återvinning.

### **2.4.1. Pyrometallurgi**

Pyrometallurgi handlar i grund och botten om att värmebehandla batteriers innanmäte för att kunna sära på de olika komponenterna och extrahera de åtråvärda metallerna, litium och kobolt. Denna återvinningsprocess använder färre kemikalier än hydrometallurgi och är lättare att anpassa i högre skala. Däremot är den mer rudimentär och får inte lika fina slutprodukter. Slutprodukterna för denna process är kobolt i form av koboltoxid och slaggprodukter.<sup>[9]</sup>

Sortering är det första som händer innan återvinningsprocessen, och det innebär att typen av batterier sorteras beroende på storlek, design och dess kemiska sammansättning. Detta steget är rent allmänt för batterier, men inte lika viktigt i pyrometallurgi då metallernas smältpunkt inte förändras avsevärt mycket i olika sammansättningar.

Mekanisk förbehandling är det första steget i processen. Batterierna förbehandlas genom att först och främst laddas ur med hjälp av ett saltbad, en lösning av NaCl (saltvatten). Detta är nödvändigt då det annars innebär risker som kortslutning som kan leda till självantändning av batterierna när dessa sen krossas. Efter att batterierna krossats så sällas plasthöljet och metallbehållaren bort från materialen inom batteriet: elektrolyten, katoden och anoden. Materialen separeras och sällas genom användning av mekanismer som utnyttjar gravitation, magneter och tryckluft.

Värmebehandling är centralt inom pyrometallurgin och detta sker stegvis med olika hög temperaturnivå för att kunna separera materialen. Den första etappen ligger på ett intervall runt 150–500 grader Celsius som separerar katoden från anoden och elektrolyten. När dessa är separerade och borttagna sker nästa uppvärmning som ligger på ett intervall på ungefär 1400–1700 grader Celsius. Vid denna uppvärmning adderas olika reducanter och slaggmodifierare. Slutprodukterna vid detta stadiet är då slaggprodukterna och en legering av koboltoxider. Dessa produkter behöver någon form av efterbehandling för att sedan kunna återanvändas. För att utvinna litium från slaggprodukterna måste dessa genomgå hydrometallurgi.

Vid batteriåtervinning genom denna process utvinns nästan alla metaller oavsett kemisk sammansättning. Kobolt, nickel och koppar binds samman i den legering som fås ut vid sista steget och går sedan att separera, med hjälp av till exempel hydrometallurgi. Litium, mangan och aluminium däremot hamnar bland slaggprodukterna. Aluminium går ej att utvinna från detta slagg, endast ytterst lite litium och en liten mängd mangan går att utvinna.

#### **2.4.2. Hydrometallurgi**

Hydrometallurgi går i stora drag ut på att med hjälp av syror lösa upp batterimaterial och få ut värdefulla metaller som litium, men även kobolt och nickel kan utvinnas. Därefter tillsätts reagenser som binder sig med metallerna och skapar en fast massa som kan filtreras ut. På så sätt kan man återvinna värdefulla metaller ur litiumjonbatterier. Hur mycket metall som återvinns ur batterierna är väldigt olika beroende på vilka kemikalier och tillvägagångssätt man använder sig av, men nyare metoder har resulterat i 98% utvinning av litium i urlakningsprocessen.<sup>[10]</sup> Processen för hydrometallurgi beskrivs nedan och illustreras i figur 4.

**Demontering:** Batteriet monteras isär för att separera anoden, katoden och separatorn. Dessa komponenter värmebehandlas och separeras sedan från varandra inför metall-utvinningen. Oftast sitter katodmaterialet sammanfogat med aluminium. För att lösa upp bindningarna mellan dem används en lösning (olika beroende på vilket material som ska lösas upp) och ytterligare värmebehandling. Detta steg är bland de mer tidskrävande och det steget som skulle kunna förbättras av att batterierna designas med återvinning i slutstadiet i åtanke. Värmebehandlingen innefattar också säkerhetsrisker då den giftiga gasen vätefluorid produceras vid uppvärmningen.

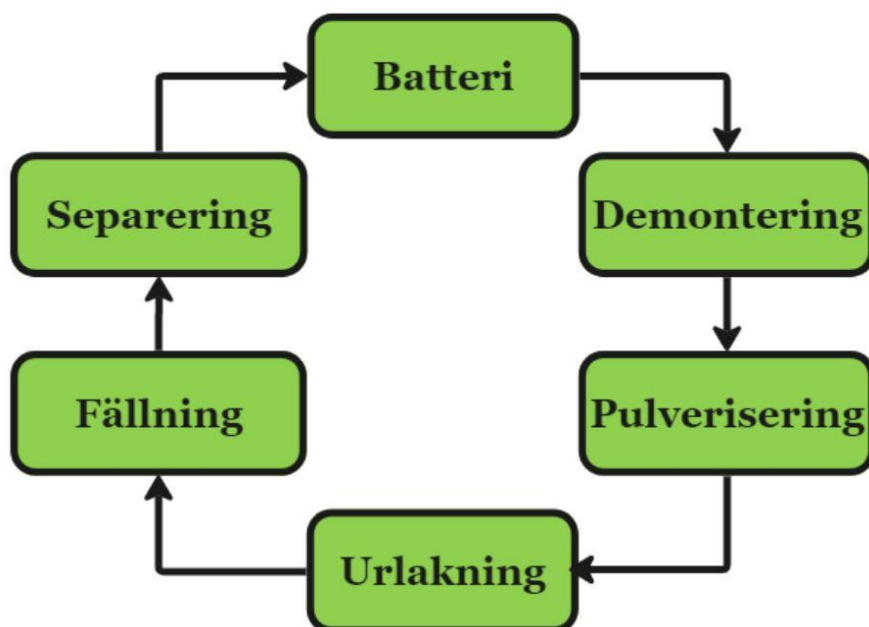
**Pulverisering:** Katodmaterialet krossas och slipas till mindre bitar för att lättare kunna extrahera ut metaller. I vissa fall kan också separering med hjälp av magneter tillkomma.

**Urlakning:** Det krossade katodmaterialet innehåller metallämnen i fast form. Målet är att bryta ner materialet och de metallerna i det till ett flytande stadiet. Detta görs genom att doppa det i vätebaserade syror och på så sätt "suga ur" metallerna.

**Fällning:** När materialet släppt ifrån sig metallerna är det dags att separera dem från lösningen. Detta görs med hjälp av en kemisk process som skapar fällningar med metallerna så att de övergår från flytande till fast form. Genom att tillsätta reagensämnen som exempelvis ett karbonat kan litiumet fås ut som litiumkarbonat.

**Separering:** Slutligen ska litiumsammansättningen separeras från lösningen genom filtrering och torkning.





*Figur 4: Cykeln för litium som återvinns ur ett batteri och återanvänds i ett batteri.*

**Risker - miljö och människa:** Den hydrometallurgiska återvinningsprocessen kan ha en negativ påverkan på miljön både innan själva processens och under. Innan processens början behöver batteriets innehåll neutraliseras. Det finns risker vid hanteringen av litiumjonbatterier som självantändning eller kortslutning. För att undvika detta behöver de använda litiumjonbatterierna först laddas ur. För större batterier, exempelvis de som används i eldrivna fordon, sänks batteriet ned i en saltlösning för att ladda ur det. Vid demontering, manuell eller mekanisk separering, tas först batteriets yttre skal bort och därefter används flytande kväve för att ytterligare oskadliggöra skadliga ämnen. I detta steg skapas giftiga gaser som är skadliga för både miljö och människa om de inte hanteras korrekt.<sup>[11]</sup>

#### **2.4.3. Direkt återvinning**

Direkt återvinning är den nyaste av dessa tre processer. Processen utnyttjar inte komplexa kemiska metoder och på så sätt undviks giftiga gasutsläpp.<sup>[12]</sup>

Batteriet laddas ur och tas isär till tusentals små celler. Dessa celler behandlas därefter med **superkritisk koldioxid**: koldioxid som befinner sig över sitt värde på kritiskt tryck och temperatur. Vilket görs för att extrahera elektrolyten från battericellen. Därefter separeras elektrolyt och koldioxid genom reglering av tryck och temperatur, elektrolyten kan därefter återanvändas i batteritillverkning.

När elektrolyten har separerats från cellerna, kan dessa antingen krossas eller plockas isär för att sedan extrahera katodremsorna. Efter att remsorna genomgått någon form av efterarbete kan dessa användas i nya batterier. En form av efterarbete är att doppa remsorna i ett lösningsmedel, oftast NMP, och utsätta dessa för **sonikering**: användningen av ljud för att separera partiklar. Slutprodukten blir en form av metalliskt pulver som innehåller de olika metallerna som ingått i katodmaterialet.

Därefter tillsätts antingen  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  i form av ett pulver som blandas in under uppvärmning, eller en vätska innehållande  $\text{LiOH}/\text{Li}_2\text{SO}_4$  vilken sedan värms upp under inblandning av restpulvret. Oavsett vilken av dessa metoder som används glödgas sedan slutprodukten för att få en solid metallbit som kan användas i tillverkning av nya batterier.<sup>[7]</sup>

Saker som bör tas till hänsyn under denna process är att lösningsmedlet NMP är en giftig vätska som kan orsaka besvär hos operatörerna vilket innebär att säkerhetsutrustning är viktigt. En biprodukt av processen kan dessutom vara fluorvätesyra vid nedbrytning av polyvinylidenfluorid som kan förekomma i litiumjonbatterier som ett bindemedel.

#### **2.4.4. Jämförelse av återvinningsprocesserna**

Den pyrometallurgiska processen är den äldsta, billigaste och lättaste metoden för återvinning av batterier. Problemet är att denna process kräver mycket energi för att fungera och en stor mängd litium försvinner i processen. Det lilla litiumet som förblir måste dessutom genomgå fler processer, oftast hydrometallurgi, för att kunna utvinnas. Pyrometallurgi får däremot ut en hel del kobolt i processen vilket är en kritisk råvara. Som det står i avsnitt 2.4.1, utvinns dessutom resterande metaller i batteriet då dessa legerar sig med kobolten, däremot hamnar aluminium i samma slagg som litium och går ej att utvinna.

Den hydrometallurgiska återvinningsprocessen är aningen nyare och mer komplex än den pyrometallurgiska, men inte så ny att tekniken är för svår för att applicera. Det är aningen dyrare att bygga men kräver inte lika mycket energi vid drift samt att denna process genererar mindre avfall. Då denna process använder sig av syror och andra kemikalier som utsöndrar giftiga gaser behöver återvinningen göras i en steril miljö med god säkerhetsutrustning till de personer som arbetar under processen. Förutom en större mängd litium och mangan än pyrometallurgin, utvinns även alla andra metaller som ingår i batteriet, däremot förekommer koppar i aningen lägre mängd än vid pyrometallurgi.<sup>[7]</sup>

Direkt återvinning av batterier är den nyaste av dessa processer och det innebär alltså att den är dyrast att producera och tekniken är väldigt ny. Processen, likt hydrometallurgi, använder mindre energi än pyrometallurgi, och väldigt lite avfalls genereras vid direkt återvinning. Även vid denna process används kemikalier som kan utsöndra giftiga gaser och måste därför finnas bra säkerhetsutrustning. Vid direkt återvinning utvinns alla metaller från batterierna och kan alla användas direkt vid tillverkningen av nya batterier, vilket inte är möjligt för någon av de andra återvinningsprocesserna. En nackdel med detta är att batterierna behöver sorteras väldigt då den kemiska strukturen innebär att olika separeringsmetoder används, vilket inte är lika noggrant vid pyrometallurgi där metallerna separeras med värme intervall och det är det enda som behöver justeras.

I tabell 2 finns en kort sammanställning av några för- och nackdelar för de tre olika återvinningsprocesserna som tagits upp i avsnitt 2.4.

**Tabell 2:** Sammanställning av de tre återvinningsprocessernas fördelar och nackdelar.

Process	Fördelar	Nackdelar
<b>Pyrometallurgi</b>	Relativt enkel och kort process Hög effektivitet	Stor energiförbrukning Behöver kompletteras med hydrometallurgi för att utvinna litium
<b>Hydrometallurgi</b>	Hög andel återvunnet material Låg energiförbrukning Hög selektivitet	Lång process Hög vattenkonsumtion Gasutsläpp
<b>Direkt återvinning</b>	Låg energiförbrukning Miljövänlig process Hög återvinningsgrad	Starkt beroende av rätt utrustning Användning av skadliga kemikalier

## 2.5. Samhälle - politik, policys och regler

Den 11:e december 2019 introducerade den Europeiska Kommissionen satsningen "The European Green Deal". The Green Deal är en satsning vars syfte är att göra EU:s ekonomi hållbar och klimatneutral till år 2050. Planen innefattar mål som att minska utsläpp av växthusgaser, öka användningen av förnybar energi, energieffektivitet och cirkulär ekonomi.<sup>[13]</sup>

En del i detta, kopplad till The green Deals områden för industristrategi och handlingsplan för cirkulär ekonomi är att EU ska se över reglerna och utveckla reglerna för batterier. Ett förslag som antogs i mars 2022 innefattar regler som rör:

### **Begränsat koldioxidavtryck:**

För att minska koldioxidavtrycket från batterierna kommer batterier att märkas med en särskild etikett för att öka insynen i deras miljöpåverkan. Detta kommer att vara obligatoriskt för litiumjonbatterier som används i elfordon, lätta transportmedel och industribatterier som är laddbara och har en kapacitet på över 2 kWh. Märkningen kommer att täcka hela batteriets livslängd och garantera att nya batterier innehåller minimihalter av vissa råvaror.<sup>[14]</sup>

### **Råvaror:**

Tillverkning av batterier är i hög grad beroende av kritiska råvaror som kobolt, litium, nickel och mangan, vilka har betydande miljö- och sociala konsekvenser.

För att bekämpa kränkningar av mänskliga rättigheter och främja etiska batterier har parlamentsledamöterna föreslagit att batteritillverkare ska ha en skyldighet att genomföra en *due diligence*-process. Denna process kommer att omfatta krav som syftar till att hantera sociala och miljömässiga risker relaterade till inköp, bearbetning och handel av råvaror och sekundära råvaror. Alla ekonomiska aktörer som säljer batterier på EU-marknaden, förutom små och medelstora företag, kommer att vara skyldiga att utveckla och genomföra denna policy för tillbörlig aktsamhet.<sup>[14]</sup>

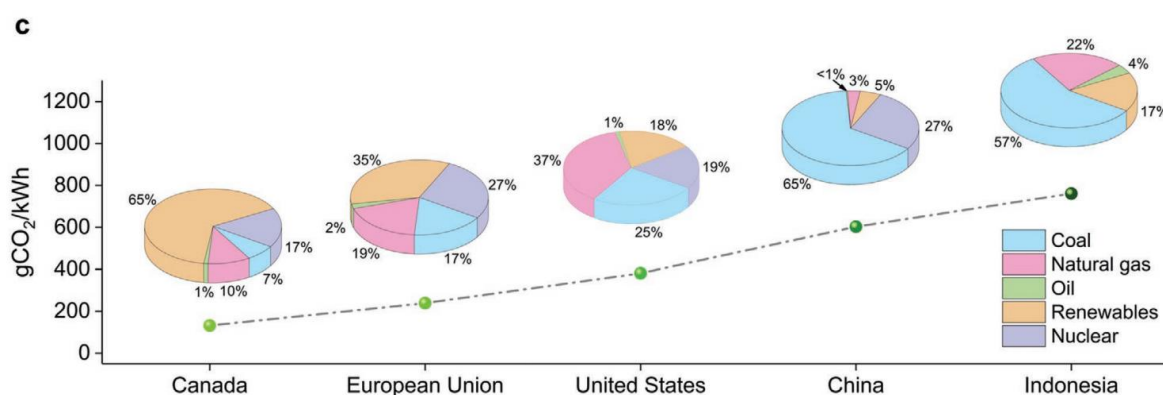
### **Batteriåtervinning & minimumhalter:**

Avfall från batterier från bland annat lätta transportmedel, bilbatterier och elfordon bör samlas in utan kostnad för användarna oavsett batteriets tillverkare eller skick.

Nya miniminivåer för återanvändning av vissa återvunna material i batterier kommer införas. Detta innebär att nya litiumjonbatterier kommer behöva innehålla minst kobolt (16%), bly (85%), litium (6%) och nickel (6%).<sup>[14]</sup>

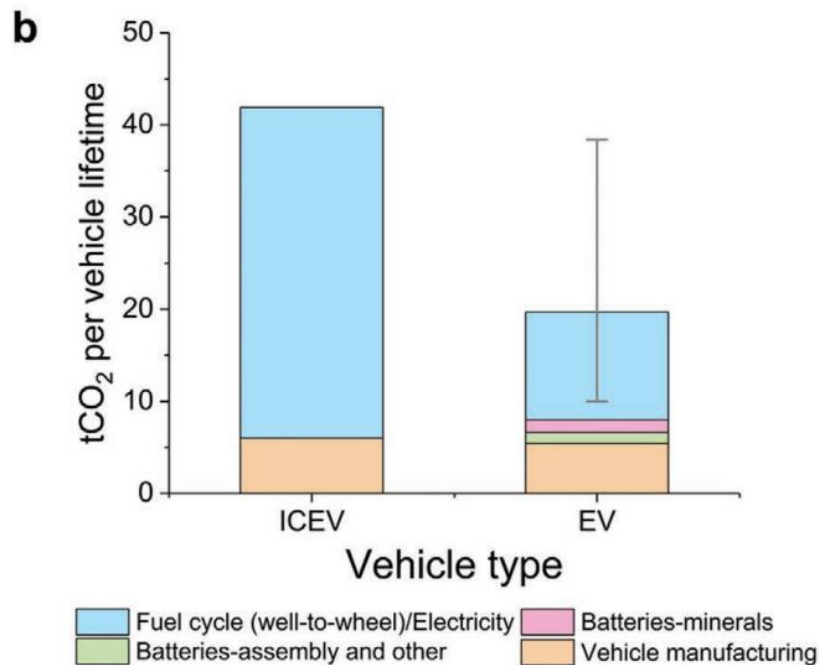
## **2.6. Miljöpåverkan baserat på geografisk position**

Beroende på vart elen kommer ifrån så har litium olika påverkan på miljön. I vissa länder används fossila bränslen till större utsträckning än förnybara bränslen vid energiproduktion. I figur 5 nedan visas resultaten från en undersökning<sup>[15]</sup> på olika delar av världen och jämförts med varandra utifrån hur mycket CO<sub>2</sub> utsläpp som kommer från deras elproduktion, samt hur elproduktionen är fördelad år 2019.



**Figur 5:** Jämförelse mellan olika länder/världsdelars påverkan på miljön utifrån deras elproduktion, hämtad från artikeln: "Sustainable Electric Vehicle Batteries for a Sustainable World: Perspectives on Battery Cathodes, Environment, Supply Chain, Manufacturing, Life Cycle, and Policy."<sup>[15]</sup>

Den geografiska positionen influerar på så vis hur mycket litiumet påverkar miljön, i grafen nedan (figur 6) visas en jämförelse från samma artikel där miljöpåverkan från fordon med förbränningsmotorer, *ICEV*:s, jämförs med miljöpåverkan från elfordon, *EV*:s, som använder sig av litiumjonbatterier. På “EV” stapeln finns en grå linje och den står för spannet av påverkan beroende på vart i världen fordonet används (utifrån data i figur 5), men i genomsnitt ligger denna på den plats där stapeln når på intervallet.



**Figur 6:** Graf som visar en jämförelse mellan miljöpåverkan av fordon med förbränningsmotorer gentemot elmotorer. Det grå strecket på EV stapeln refererar till de intervall som bestäms av vart i världen el-fordonets el kommer ifrån under användning och beror på geografisk plats. Även denna är hämtad från artikeln: “Sustainable Electric Vehicle Batteries for a Sustainable World: Perspectives on Battery Cathodes, Environment, Supply Chain, Manufacturing, Life Cycle, and Policy.”<sup>[15]</sup>

Som figur 5 illustrerar skiljer miljöpåverkan rätt mycket mellan världsdelar, men det slutar inte där. Vid en närmare titt på Europa är det tydligt att det skiljer sig minst lika mycket mellan olika länder. Sverige är ett land som nästan gjort sig av med all användning av fossila bränslen vid energiproduktion, enligt Europeiska rådet stod förnybara källor för 69% av Sveriges elproduktion 2022 och fossila bränslen stod endast för 1,2% och resterande var från kärnkraft. Det finns fortfarande länder som använder sig av fossila bränslen och ett exempel är Italien där hela 63% av elproduktionen kom från fossila bränslen samma år.<sup>[16]</sup>

Som det står i avsnitt 2.1. sker utvinningen av litium främst i Sydamerika, och enligt internationella energirådet stod förnybara källor för 69% av elproduktionen i Syd-och Centralamerika 2020.<sup>[17]</sup> I Argentina står förnybara källor för 26% av elproduktionen. I Chile står förnybara källor för 47% och i Bolivia står dessa för 36%. Allt detta innebär alltså att miljöpåverkan vid utvinning, tillverkning, användning och återvinning av litiumjonbatterier beror till stor del på i vilket land detta sker.

### 3. Intervju

Som en del i informationsinsamlingen hölls en intervju med Anders Ekwall, director för BU material och Revolt på Northvolt, en tillverkare av avancerade batterilösningar. Företaget grundades år 2016 och är baserat i Stockholm, Sverige. De specialiserar sig på att designa och tillverka högpresterande litiumjonbatterier för fordonssektorn, energilagring och industribranschen. Företaget har ett starkt engagemang för cirkulär ekonomi och återvinning av batterier.

#### **Vilka är de största utmaningarna med att använda återvunna material generellt och litium specifikt? Hur gör ni för att möta dessa utmaningar?**

En av de största utmaningarna med utvinning av värdefulla material ur litiumjonbatterier ligger i själva utvinningsprocessen. För att möta denna utmaning använder sig Northvolt av hydrometallurgi, en specifik process som kräver anläggningar som är byggda och anpassade för ändamålet. För närvarande pågår byggandet av en stor anläggning i Skellefteå, Sverige, där denna metod kommer att användas för att utvinna och återanvända litium, kobolt och nickel.<sup>[18]</sup>

En annan stor utmaning med att återvinna och återanvända material från batterier är att säkerställa att de uppfyller höga kvalitetsstandarder. Återvunna material kan vara förorenat eller ojämnt fördelat, vilket komplicerar återvinningsprocessen. Själva återvinningsprocessen kräver också specialiserad teknik och processer för att kunna genomföras effektivt. Northvolt satsar stort på att anställa personal med stor kunskap inom de olika nödvändiga områdena.

#### **Var kommer det litium ni använder i era batterier ifrån?**

Det råder en brist på förbrukade batterier för att möta den stigande efterfrågan på litium, vilket innebär att nytt litium behöver brytas för att tillgodose behoven. Men det finns en förhoppning om att materialet i framtiden kommer enbart från återvunna batterier.<sup>[18]</sup>

Även under tillverkningsprocessen av batterier, återvinningsprocessen och även när batterierna väl har installerats i bilar, genereras det avfall i form av skrot. Northvolt strävar efter att optimera användningen av detta skrot genom att fånga upp det under dessa processer och återanvända det. Northvolt har som mål att implementera denna praxis både i egen fabrik och genom ett system där deras kunder kan skicka tillbaka skrotavfall för återanvändning.

Genom att effektivisera användningen av skrotavfall kan Northvolt bidra till att minska behovet av att bryta nytt litium och istället förlita sig på återvunnet material. Detta skulle vara ett steg i riktning mot en mer hållbar och cirkulär batteri-industri, där resurserna kan användas mer effektivt och miljöpåverkan kan minskas.

### **Hur påverkar nya riktlinjer och lagar ert arbete?**

Northvolt har en fördel gentemot andra företag när det gäller att möta nya policys inom miljö- och hållbarhetsområdet, eftersom företaget redan från början har lagt stor vikt vid dessa områden. Medan andra företag kanske behöver genomgå omstruktureringar för att anpassa sig till nya lagar, regler och policys, är Northvolt redan på rätt spår. Genom att fokusera på hållbarhet och miljövänlighet har företaget skapat en stark grund som gör att de kan dra nytta av de nya politiska direktiv som införs.<sup>[18]</sup>

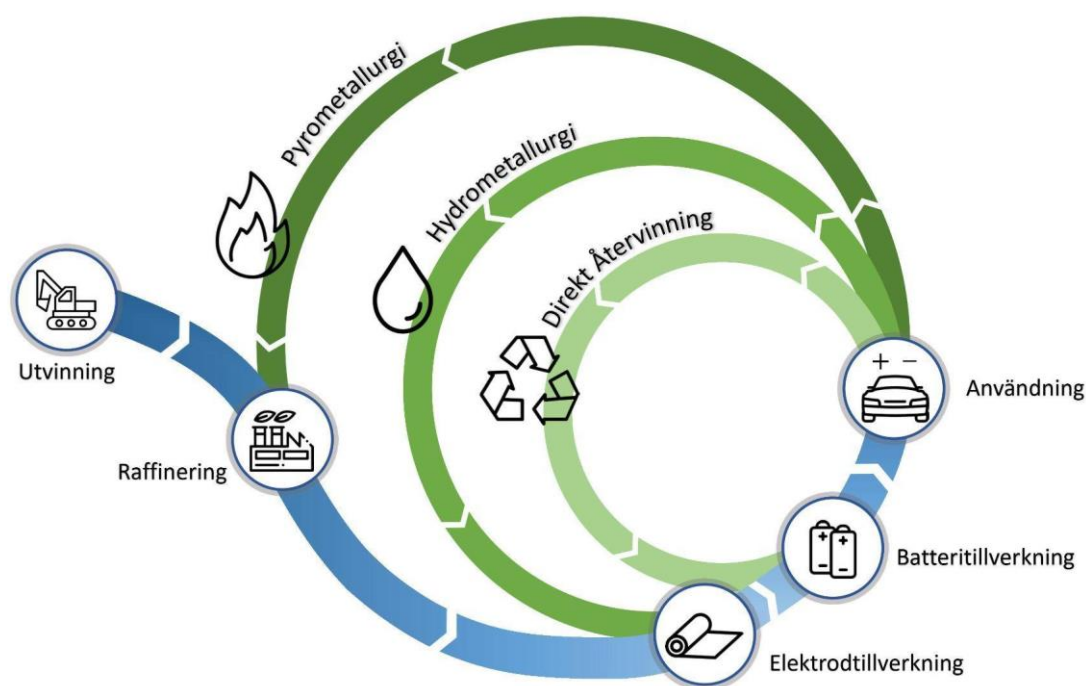
Northvolt arbetar hårt för att säkerställa spårbarhet i vägen från råmaterial från gruvan till batteritillverkningen. Företaget strävar efter att etiskt utvinna material och har även fokus på att minska koldioxidutsläppen under hela processen. Genom att vara i linje med och följa de nya policys, riktlinjer och lagar som främjar hållbarhet och miljövänlighet inom batterisektorn, kan Northvolt positionera sig som en pålitlig och ansvarsfull aktör. Dessa politiska direktiv ses som möjligheter att främja verksamheten och driva innovation inom batteriteknologi.

Intresset för att återanvända så mycket material som möjligt är starkt, inte bara från Northvolt utan också från bilindustrin i allmänhet. Biltillverkare strävar efter att visa sin gröna profil och att använda återvunna material är en viktig del av detta. Genom att främja återvinning och återanvändning av batterier kan företag som Northvolt och biltillverkare gemensamt bidra till att minska resursförbrukningen och miljöpåverkan.

## 4. Resultat

Här kommer arbetets resultat att redovisas genom att svara på frågeställningen.

### 4.1. Livscykeln för återvunnet litium



*Figur 7: Kretsloppet för återvunnet litium.*

I figur 7 ses kretsloppet för återvunnet litium. Detta kretslopp visar vägen för litium som används i fordonsindustrin, från utvinning till återvinning. Det består av ett antal punkter som kan paras ihop och beskrivas enligt:

- **Utvinning:** Litium utvinns ur saltvatten och genomgår en process enligt avsnitt 2.1: utvinning, filtrering, rening, utfällning och slutligen torkning. Vid detta stadi i livscykeln påverkas miljön bland annat genom att stora mängder vatten krävs vid denna process och stora ytor används vilket kräver en hel del mark som kan leda till habitatförlust som det beskrivs i avsnitt 2.1.1. Miljön påverkas dessutom genom energianvändning, och detta beror på vart i världen denna process sker. Oftast sker detta i Litiumtriangeln som omfattar Argentina, Chile och Bolivia, där förnybara energikällor står för 26%, 47% och 36% för respektive lands elproduktion. Minst miljöpåverkan skulle, utifrån detta perspektiv, vara om denna process sker i Chile.
- **Tillverkning:** Under tillverkningen genomgår litiumet processer som påverkar främst genom energiförbrukning i produktionsanläggningar som det beskrivs i avsnitt 2.3. där elektrod tillverkning är den del av processen som kräver mest energi då detta är en lång och krävande process. Det är därför viktigt att ta hänsyn till vart i världen elektroderna och batterierna tillverkas, vilket beskrivs i avsnitt 2.6.



- **Användning:** Vid användning spelar den geologiska positionen störst roll, då batteriet laddas utifrån den delen av elnätet som används vid dessa olika platser. Som det står i avsnitt 2.6. skiljer det väldigt mycket från land till land. Förnybara energikällor i till exempel Sverige och Italien stod för 69% och 37% för respektive lands elproduktion år 2022, vilket innebär att ett batteri som används i Sverige har en lägre miljöpåverkan än ett som används i Italien. Litiumet spenderar största delen av livslängden på detta stadiet. Detta och det faktum att efterfrågan på litium ökar innebär att nytt litium måste brytas. Som det beskrivs under kapitel 3. är förhoppningarna i framtiden att efterfrågan ska bemötas med enbart återvunnet litium.
- **Återvinning:** Vid återvinningen av litium används en eller, i vissa fall, två av de processer som beskrivs i avsnitt 2.4:
  - *Pyrometallurgi*
  - *Hydrometallurgi*
  - *Direkt återvinning*

Dessa tre har alla olika energiförbrukning och därmed olika miljöpåverkan, den process som utgör minst miljöpåverkan är direkt återvinning av litiumjonbatterier. Det är även viktigt att ta hänsyn till att vid användning av hydrometallurgi och direkt återvinning förekommer utsläpp av hälsofarliga avfall och gaser, då hälsofarliga kemikalier som NMP används. Den process som har högst energiförbrukning är pyrometallurgi och denna process skapar även mest avfall.

#### **4.2. Metaller som utvinns vid batteriåtervinning**

Alla metaller som ingår i litiumjonbatterierna går att utvinna, men mängden varierar beroende på vilken återvinningsprocess som används.

- *Pyrometallurgi:* kobolt, nickel och koppar utvinns i stora mängder. Litium och mangan förekommer i mycket små mängder och aluminium går inte att utvinna.
- *Hydrometallurgi:* kobolt, nickel och aluminium utvinns i stora mängder, aningen mindre mängd koppar än vid pyrometallurgi. Relativt stora mängder litium och mangan utvinns i jämförelse med pyrometallurgi.
- *Direkt återvinning:* Alla metaller går att utvinna i stora mängder vid denna process

### 4.3. Politiska direktiv som uppmanar återvinning av litium

Politiska direktiv uppmanar fordonsindustrin till mer miljövänliga arbetssätt och ökad användning av batterier med återvunna material på flera sätt:

**Märkning** - Batterier i elfordon, lätta transportmedel samt laddningsbara industribatterier kommer att märkas med en särskild etikett för att öka insyn i batteriets miljöpåverkan under dess livslängd. Genom att behöva ange miljöpåverkan från batterierna uppmanas fordonsindustrin att välja batterier med lägre koldioxidavtryck.

**Etiska batterier** - tillverkningen av batterier är beroende av kritiska råvaror som litium och efterfrågan är större än tillgången på återvunnet litium, vilket innebär att utvinning och brytning av råmaterial är oundvikligt. För att bekämpa att mänskliga rättigheter kränks och istället främja etiska batterier ska batteritillverkare genomföra en due diligence-process. Genom att införa krav på tillbörlig aktsamhet uppmanas fordonsindustrin att säkerställa en ansvarsfull och hållbar hantering av litium och andra råvaror i batteritillverkningen genom att hantera sociala och miljömässiga risker relaterade till inköp, bearbetning och handel av råvaror.

**Krav på miniminivåer** - Genom att införa krav på minimihalter av vissa kritiska material i batterier kommer batteritillverkare tvingas till användning av återvunnet material. Detta innebär att återvunnet litium kommer användas i nya batterier, vilket främjar en mer cirkulär och resurseffektiv användning av bland annat litium.

**Förenkla cirkulering av batterier** - Det betonas att avfall från batterier från bland annat lätta transportmedel, bilbatterier och elfordon ska kunna samlas in utan extra kostnad för användare, oberoende av batteriets skick. Denna mer hållbara hantering av använda batterier främjar batteriåtervinning genom att göra logistikkedjan enklare och mer tillgänglig.

## 5. Diskussion & slutsats

Arbetet har förlitat sig till stor del på litteraturstudier, vilket har visat sig gynnsamt på så sätt att ämnet är väl undersökt och väldigt aktuellt. Detta innebär att det finns väldigt många källor som stärker varandra. En nackdel med detta var att det sällan förekommer artiklar med olika perspektiv, de flesta utgick från och gick mot samma punkt. Förutom litteraturstudier hölls även en intervju som gav god insikt i hur företag jobbar mot att minska miljöpåverkan och bekräftade det som litteraturstudierna visade - att företag idag skiftar mer och mer mot att upprätthålla en miljösäker produktion.

Fler intervjuer hade varit värdefullt för att se hur arbetssätt skiljer sig från företag till företag. Northvolt är fortfarande ett relativt nytt företag och har alltid haft miljömedvetna mål, men hur ser det ut för äldre företag som nyligen skiftat fokus mot miljö? Hur ser omställningen ut för biltillverkande företag som enbart fokuserat på förbränningsmotorer?

Metoderna ledde till att frågeställningen har besvarats tillfredsställande som vi kan se i resultatet. Det finns nu en klar bild över hur själva kretsloppet för återvunnet litium ser ut. De finns potential att fördjupa sig mer i områden som till exempel tillverkningen av elektrodmaterial och besvara frågor som "Finns det sätt att optimera tillverkningen så att man kan minska miljöpåverkan?" Frågan väcktes vid undersökning av tillverkningsprocesser där det framkom att det är möjligt att fånga upp lösningarna som förångas vid torkningen av elektrodrullarna vilket gör det möjligt att använda dessa i nya lösningar. En fördjupning inom tillverkningsprocessen hade troligtvis kunnat ge ett annat intressant perspektiv på livscykeln.

De politiska direktiven har utan tvekan lett till att företag jobbar mer mot en hållbar framtid och som vi fick ut av intervjun så har yngre företag en fördel i och med att dessa jobbar redan från början med hållbarhet i åtanke vilket Northvolt är ett väldigt bra exempel på. De politiska direktiven kommer troligtvis fortsätta att förändras i framtiden för att fortsätta framryckningen i hållbarhetstänket och det ska bli spännande att se hur detta fortsätter att påverka företag och hur de svarar på dessa för att passa in och konkurrera med varandra på marknaden.

Vi valde att fokusera på återvinningen då det kändes väldigt passande i nuläget och det var intressant att lära sig om hur processen faktiskt går till vid batteriåtervinning. Det ska bli intressant att se nya lösningar som kan komma till liv i framtiden, samtidigt som vi vill se direkt återvinning av batterier bli en mer etablerad återvinningsprocess då den erbjuder stora möjligheter för minskning av miljöpåverkan. Under intervjun med Anders Ekwall kom frågan om utbud och efterfrågan av litium upp. Med tanke på hur mycket efterfrågan av litium har stigit kommer det troligtvis att dröja ett bra tag innan utvinningen av nytt litium kan avta, men när skulle detta ske?

Det finns många intressanta val av framtida arbeten utifrån denna grund vi lagt. Ett steg i livscykeln vi valde att bortse var deponi, för i verkligheten är det en del litium som hamnar där och vid vidare fördjupning om detta kan man utforska olika metoder för att minska den mängd litium som hamnar på deponi, här kan man även fördjupa sig kring Second Life som är en existerande metod för just detta ändamål.

En slutsats som kan dras är att detta är ett ämne med många fördjupningsområden och som kommer att fortsätta utvecklas mer och mer i framtiden. Vi ser redan nu att nya återvinningsprocesser för litiumjonbatterier börjar etablera sig på marknaden för att effektivisera utvinningen av litium och andra metaller från batterier vid slutet av deras livslängd. Dessutom får nya politiska direktiv företag att satsa mer på miljön och hållbarhet är i fokus för majoriteten av företagen idag.

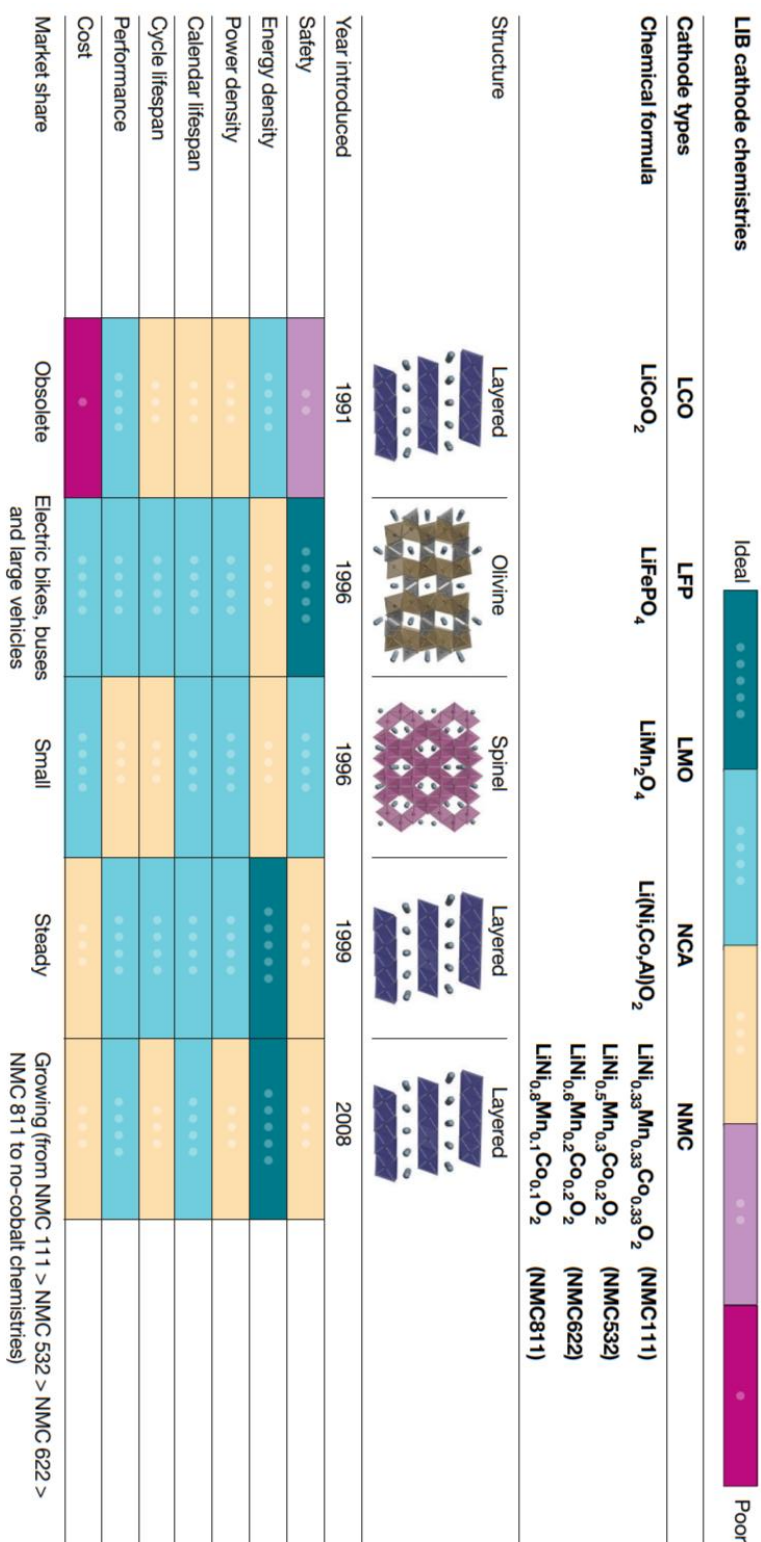
## 6. Källförteckning

Källor som använts under arbetets gång rangordnas nedan från tidigast till senast refererade.

- [1] Polestar. Håll dig uppdaterad om ström: det senaste inom batterivärlden.  
[Publicerad: 2022-03-16, citerad: 2023-06-01] Hämtad från:  
<https://www.polestar.com/se/news/staying-current-about-current-the-latest-from-the-world-of-batteries/>
- [2] Renault Group. A second life for batteries: from energy storage to industrial storage.  
[Publicerad: 2020-02-13, citerad: 2023-06-01] Hämtad från:  
<https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/a-second-life-for-batteries-from-energy-usage-to-industrial-storage/>
- [3] Anderson J. The Lithium Triangle: South America's Mining Heartland. Harvard Int Rev.  
[Publicerad: 2019-11-17, citerad 2023-03-30] Hämtad från:  
<https://hir.harvard.edu/lithium-triangle/>.
- [4] Khalil A, Mohammed S, Hashaikeh R, Hilal N. Lithium recovery from brine: Recent developments and challenges. Desalination. 2022;528.  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.115611>
- [5] Datu Buyung Agusdinata, et al. 2018 Environ. Res. Lett. 13 123001.  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae9b1>
- [6] Choi, J., Aurbach, D. Promise and reality of post-lithium-ion batteries with high energy densities. Nat Rev Mater 1, 16013 (2016). <https://doi.org/10.1038/natrevmats.2016.13>
- [7] Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E. et al. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. Nature 575, 75–86 (2019).  
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>
- [8] Heimes, H., Kampker, A. Lithium-ion battery cell production process. RWTH Aachen Uni. [Publicerad: 2018-12, citerad 2023-05-14] Hämtad från:  
[https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show\\_document.asp?id=aaaaaaaaabdqbtqk](https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaabdqbtqk)
- [9] Mohammad Assefi, Samane Maroufi, Yusuke Yamauchi, Veena Sahajwalla, Pyrometallurgical recycling of Li-ion, Ni–Cd and Ni–MH batteries: A minireview, Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, Volume 24, 2020, Pages 26-31, ISSN 2452-2236,  
<https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.01.005>.

- [10] Zheng, X., Zhu, Z., Lin, X., Zhang, Y., He, Y., Cao, H., et al. A Mini-Review on Metal Recycling from Spent Lithium Ion Batteries. *Engineering*. 2018;4:370-361  
<https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.018>
- [11] Zhou, L., Yang, D., Du, T., Gong, H., Luo, W. The Current Process for the Recycling of Spent Lithium Ion Batteries. *Green and Sustainable Chemistry*. 2020;8.  
<https://doi.org/10.3389/fchem.2020.578044>
- [12] Huang, B., Pan, Z., Su, X., An, L. Recycling of lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives. *Journal of Power Sources*. 2018;399:286-274.  
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.07.116>
- [13] Communication from the European Commission: The European Green Deal [Internet] Bryssel, 2019-12-11. [Citerad 2023-03-30] Hämtad från:  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
- [14] Europaparlamentet. Nya EU-regler för mer hållbara och etiska batterier. Skapat 2022-03-07 [Uppdaterad 2022-12-12; citerad 2023-03-30]. Hämtad från:  
<https://www.europarl.europa.eu/news/sv/headlines/economy/20220228STO24218/nya-eu-regler-for-mer-hallbara-och-etiska-batterier>
- [15] Yang, Z., Huang, H., Lin, F., Sustainable Electric Vehicle Batteries for a Sustainable World: Perspectives on Battery Cathodes, Environment, Supply Chain, Manufacturing, Life Cycle, and Policy. *Adv. Energy Mater.* 2022, 12, 2200383.  
<https://doi.org/10.1002/aenm.202200383>
- [16] Europeiska rådet. Infografik - Hur produceras och säljs el från EU?. [Senast ändrad: 2023-05-10; citerad 2023-05-14] Hämtad från:  
<https://www.consilium.europa.eu/sv/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/>
- [17] Internationella energirådet. Central & South America. [Senast ändrad: 2023-04; citerad: 2023-05-15] Hämtad från:  
<https://www.iea.org/regions/central-south-america>
- [18] Intervju: Ekwall, Anders. *Director, Business Control, BU Active Materials & Revolt*, Northvolt. 2023-05-03, 10:00-11:00.

# Bilaga - A



**Bilaga A:** Jämförelse mellan de olika egenskaperna för de olika kemiska sammansättningarna som hittas i katoden i LIBs (Lithium Ion Batteries, eller litiumjonbatterier). Hämtad från artikeln: *Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles*<sup>[7]</sup>

