

TEKNISK PROGNOs

RAPPORT NR 1 • 2024

TEMA: BATTERI

**FÖRSVARET STÄLLER OM
TILL EN FOSSILFRI VÄRLD**

**PÅ JAKT EFTER BATTERIETS SJÄL
BLAND RYKANDE PISTOLER**

**VÄRLDSLEDANDE FORSKNING
PÅ BATTERIER SOM BÄR LAST**

**LIVSCYKELANALYSEN VISAR
ATT ELBIL ÄR BÄST FÖR KLIMATET**

FMV



INNEHÅLL

Krönika – Mikael Schönström	4
På spaning efter batteriets själ	6
Grundforskning med vilda idéer	10
Batteriets grunder (grafik)	14
Det alkaliska batteriet (grafik)	16
Batterityper och deras för- och nackdelar (grafik)	18
Bland batteriernas rykande pistoler	20
BMS – Battery Management System	23
Litiumjonbatteriet (grafik)	24
Hemligheten bakom det viktlösa batteriet	26
Strukturell energilagring (grafik)	30
Livscykelanalysen visar – elbil är bäst för klimatet	32
Tillverkningsprocess – litiumjonbatterier (grafik)	34
I slutändan är det ingenjörerna som knyter ihop säcken	36
I gränslandet mellan batterier och bränsleceller	38
Flödesbatteri (grafik)	42
Råvaruförsörjning för tillverkning av litiumbatterier (grafik)	44
Råvaror i Sverige (grafik)	45
Försvaret ställer om till fossilfri värld	46
Batterier på slagfältet (grafik)	48
Utan batterier ingen ubåt	50
Den svenska batterivärdekedjan (grafik)	53
Batteriernas värdekedja (grafik)	54
Framtidens lastbil grönare än kor	54
Förkortningar och begrepp	60

INTE BARA TEKNIK BATTERIER EN FRÅGA OM VÅR SÄKERHET

I takt med att världen elektrifieras, från civila fordon till militära system, blir batteritekniken alltmer strategisk. Sverige står i framkant med banbrytande forskning vid till exempel Uppsala universitet, KTH och Chalmers, där nya batteriteknologier utvecklas för att möta framtidens krav på energilagring, säkerhet och hållbarhet. Både små och stora företag har satsningar på batteriteknik då den gröna omställningen ställer krav på lägre utsläpp. Här finns även affärsmöjligheter. I krig är batterier redan i dag en viktig energikälla för olika plattformar och system – inte minst våra ledningssystem. Med fler sensorer och mer it-utrustning inom våra stridskrafter så kommer behovet bara öka.

Forskare vid våra lärosäten och forskningsinstitut arbetar med nästa generations batterier och nya batterikemier, samt med nya tekniker som flödesbatterier och strukturella batterier. Flödesbatterier, som lagrar energi i vätskor, erbjuder skalbarhet och lång livslängd – egenskaper som är värdefulla för energilagring vid kritisk infrastruktur. Strukturella batterier, där batteriets komponenter integreras i fordonets eller farkostens struktur, skapar möjligheter för lättare och mer effektiva plattformar. Något som har en stark relevans både för civilt och militärt bruk. I framtiden kommer vi att se många olika typer av batteritekniker som är anpassade för olika ändamål.

Batteriteknikens utveckling är inte bara en teknologisk utmaning utan också en geopolitisk fråga. Kina dominerar helt inom solceller och även för batterier till elbilar. Kina dominerar dessutom i dag värdekedjan för viktiga mineraler som litium, kobolt och grafit – råvaror avgörande för batteritillverkning. Samtidigt pågår en global kapplöpning om att

säkra tillgången till dessa mineraler. EU och USA investerar i egen brytning och återvinning. Med rika mineralfyndigheter kan Sverige också bidra till att minska beroendet av importerade råvaror, men hinder som komplicerad förädling och långa tillståndprocesser måste övervinnas.

Med sin starka forskningsbas och industrisamarbeten har Sverige möjlighet att positionera sig som en nyckelaktör i utvecklingen av framtidens batterier. Forskningsprojekt som vi besökt vid Uppsala, KTH och Chalmers bidrar inte bara till teknologiska genombrott utan stärker också Sveriges försvarsförmåga genom säkrare och mer effektiva energilösningar för militära tillämpningar.

Batteritekniken utvecklas snabbt, men frågan om tillgång till kritiska råvaror, säkerhetsaspekter och teknologisk självförsörjning blir allt viktigare. Det är därför viktigt att Försvarets materielverk följer dessa framsteg noggrant, då framtidens batterier inte bara driver fordon och system – de är också viktiga pusselbitar för vår säkerhet och nationell självständighet vad gäller energiförsörjning. □

»Det är därför viktigt att Försvarets materielverk följer dessa framsteg noggrant, då framtidens batterier inte bara driver fordon och system – de är också viktiga pusselbitar för vår säkerhet och nationell självständighet vad gäller energiförsörjning.«



Mikael Schönström,
fil.dr. FMV
mikael.schonstrom@fmv.se
Projektledare Omvärldsbevakning
med teknisk prognos.



PÅ SPANING EFTER BATTERIETS SJÄL

Det finns många lycksökare i batteribranschen, säger Kristina Edström. Jag tål inte höra ett ord till om superbatterier.

Foto: Uppsala universitet, Mikael Wallerstedt

Daniel Brandell tyckte en gång att det var svårt att förstå hur forskare kunde intressera sig för något så andefattigt som batterier. Han leder nu tillsammans med Kristina Edström Nordens största grupp för batteriforskning, Ångström advanced battery centre, ÅABC, vid Uppsala universitet.

Jag är kemist och började att forska på optiska material men var granne med batteriforskare. Ju mer jag lärde mig desto intressantare blev det, jag bytte forskningsfält och disputerade

på batterier. När jag var doktorand på den avdelning som jag nu leder var vi 15-20 personer och ingen kunde förstå varför så många skulle syssla med ett så begränsat område som batterier, säger Daniel Brandell.

– Nu har samhället tagit ett tekniksprång och vi är cirka hundra i gruppen från 30 olika nationer från alla kontinenter. Många är kemister, en del är materialvetare och några har it-bakgrund.

Koppling till industrin

Daniel Brandell är professor i materialkemi och Kristina Edström är professor i oorganisk kemi och tillsammans leder de ÅABC vid Ångströmlaboratoriet.

– Vår forskning är främst inriktad på batterikemier, komponenter och metoder. Vi kombinerar forskare från olika bakgrund och vi har en tydlig koppling till industrin.

Forskningen handlar om:

- litiumbatteriernas kemi
- material till katoder, anoder och elektrolyter i olika sorts batterier

Tillämpningar är bland andra:

- litiumjonbatterier för elfordon
- mikrobatterier
- stationära batterier för elnätet

Dessutom forskas på:

- nästa generation av elektrokemisk energilagringsteknik
- natriumjonbatterier
- fastfasbatterier
- organiska batterier
- litiumsvavelbatterier och litiumluftbatterier

– Vi forskar mycket på ytkemi i litiumjonbatterier, vilken i sin tur kontrollerar batteriets åldrande och säkerhet. Idag är vi också mycket starka när det gäller online- och in situ-karaktärisering av batterier, där forskningen ofta bedrivs vid storskalig infrastruktur som synkrotroner. Vi har också framgångsrika grupper i vår miljö som utvecklar fastfasbatterier och natriumbatterier. Användandet av modellering och AI inom batteriområdet är också på stark frammarsch.

Milljonregn över lärosäten

Uppsala universitet, Chalmers och Lunds universitet samarbetar sedan 2023 inom batteriforskning för att ge svensk industri kompetens och världsledande forskning inom batteriteknik. 2024 höjdes forskningsanslagen och varje lärosäte får 15 miljoner för att stärka forskning och utbildning inom elektrifiering och batteriteknik.

– Det innebär att vi kan anställa fler lärare och forskare, öka kvaliteten i vårt arbete ytterligare, och göra strategiska rekryteringar till de områden som behöver förstärkas – givetvis avseende batteriteknologi och batteriers kemi, men också kopplat till en rad andra natur- och samhällsvetenskapliga discipliner, säger Kristina Edström. ▸

»Att skapa ett batteri är enkelt. Det svåra är att hitta ett batteri som går att ladda upp och ur tusentals gånger. Då duger bara några få kemiska system.«

Trots de problem som drabbat Northvolt och batterifabriken i Skellefteå säger Uppsalaforskarna att det finns goda förutsättningar för storskalig batteritillverkning i norra Europa och det talas om det nordiska batteribältet.

– Här finns mineraler, robust och grön energi och stor kunskap om utveckling och tillverkning, säger Daniel Brandell. Ett problem är bristen på arbetskraft och det saknas ingenjörer i hela landet. Man tror att det kommer att skapas 800 000 nya jobb i Europa kopplat till batterisektorn. Hela området har vuxit enormt – inte bara i Europa, utan ännu mer i USA och störst är tillväxten i Asien.

Vad är det då som är så spännande med batterier?

– Det är att försöka att samla så mycket energi som möjligt i en så liten enhet som möjligt, säger Daniel Brandell. Sprängämnen är ju en analogi, men då handlar det om en okontrollerad frigö-

relse av energi. För att kontrollera den krävs mycket kunnande. Ett batteri till en elbil kan åldras fruktansvärt fort om det behandlas fel. Det kostar hundratusentals kronor och ska kunna ladda ur och upp en massa gånger och hålla i tio år. Det har krävts att tusentals ingenjörer i Asien har slipat på det här. Nu är det vårt jobb att få batterierna att räcka i hela 30 år och innehålla ännu mer energi.

Batterier behövs till att bära med sig energi och till att lagra energi. I mobiler ska mycket energi lagras i en mycket liten volym. Sol- och vindkraft kräver lagring av energi och där fungerar batterier ibland.

Löpning och batterier

Daniel Brandell förklarar att det finns olika sätt att lagra energi. En del är bra för storskalig lagring som i dammar och andra för liten skala som i mobiler. Effektivitet och kostnader är olika. Maratonlöparen behöver energi som ska räcka länge. Sprinterlöparen ska ha effekt, hög energi på kort tid. Batterier är ofta en bra kompromiss mellan dessa ytterligheter.

Att tillverka ett batteri är kanske till 70 procent ingenjörskonst. Resten är utveckling av material och nya kemiska lösningar.

– Batterier är en kemisk produkt och jag och Kristina är kemister, säger Daniel Brandell. Men nu behöver vi få in geovetare, elektroingenjörer och it-folk, för att nämna några kompetenser. Vi måste länka samman kemister och ingenjörer i den värdekedja som börjar med råvaror och slutar i en produkt i energisystemet. Vilka material ska vi ha? Hur ska vi tillverka för att få batteriet att hålla? Hur ska vi tillverka för att kunna återvinna?

– Att skapa ett batteri är enkelt. Det svåra är att hitta ett batteri som går att ladda upp och ur tusentals gånger. Då duger bara några få kemiska system. Ska man förstå produkterna måste man förstå alla aspekter och då blir kemin väldigt viktig.

– Återvinningen i dag kan bli bättre. Andelen återvunna material är liten, och det krävs starka kemikalier och mycket energi. Litium självt återvinns inte idag.

Svarta lådans hemligheter

I Kristina Edströms rum står bland alla papper ett bilbatteri som en påminnelse om verkligheten. Vilka hemligheter ruvar den svarta lådan på?

– Med fordonsindustrin och litiumbatterierna väcktes frågan – måste vi inte gå in i den svarta lådan? säger Kristina Edström. Då skedde ett paradigmskifte för 15 år sedan, och man insåg att det behövdes en helt annan grad av förståelse. Idag är vi på väg in i det digitala labbet där mer synteser görs med robotik ungefär som på läkemedelssidan. Hur får vi in artificiell intelligens i forskningen? På Europanivå finns databaser att arbeta med.

Litiumjonbatterierna dominerar och kommer att göra det för lång tid framåt.

– Det är en fantastisk resa, säger Daniel Brandell. Sedan 1990 kan man packa tre gånger så mycket energi, och energitätheten ökar fortfarande med någon procent om året. Det finns dock ingen motsvarighet till Moores lag i batterivärlden. I så fall skulle ett litiumjonbatteri idag vara lika starkt som solen. Hade batteriutvecklingen kunna hålla samma tempo som it och elektronik skulle vi ha spräckt alla fysiska lagar.

»Vi kommer att se nya batterikemier och jag hoppas på en större batteriflora. Batterier kommer att användas på fler ställen. Men det ska vara rätt batteri på rätt plats! Det finns en enorm potential för nya tekniska och kemiska lösningar.«

Litium, nickel, kobolt, koppar. Batteriets nödvändiga byggstenar som också innebär problem. Man söker ett alternativ till litium-jon, men alla dessa har sina egna problem som livslängd och återvinning.

Chile är den största litiumexportören till Europa. I det torra och heta gränslandet mellan Chile, Argentina och Bolivia, litiumtriangeln, finns 75 procent av jordens kända tillgångar. För att utvinna litium krävs enorma mängder vatten vilket leder till vattenbrist för stora områden. Den största producenten av rent litium är Australien.

70 procent av all kobolt kommer från Kongo. En del bryts i konfliktområden av barn i östra Kongo. Och en del av kobolten hamnar i våra mobiler och bilar.

Nickel är också ett problematiskt ämne. Ryssland är en stor producent och Europa importerar trots kriget i Ukraina.

Därför arbetar man överallt för att hitta nya material för anoder och katoder. Av alternativ till litium ligger

natrium bra till. Kalium, magnesium och kalcium har också fördelar, men natrium är en mer lågt hängande frukt.

Krisen i Skellefteå har kanske fått några att fundera på om alla i batteribranschen är seriösa.

Kristina Edström säger att det finns många lycksökare. Branschen är som ett Klondyke.

– Jag tål inte att höra ett ord till om superbatterier.

– Kinas forskning resulterar i en osannolik flora av vetenskaplig litteratur. 70 procent av allt som skrivs kommer från Kina. Kinesiska forskare citerar varandra i en vetenskaplig rundgång i en värld där citat i mycket blivit en forskares levebröd. Allt som publiceras är inte i sig dåligt, men det är opålitligt. Alla ska vara först och vissa fuskar med grundarbetet.

Kina i ledningen

I början gjordes alla litiumjonbatterier i Sydkorea och Japan. Nu är Kina i ledningen och Europa har precis lämnat startblocken. För att komma i fatt måste

viss expertis importeras till Europa, men det viktiga är att kunna fylla fabriken med folk som förstår hur tekniken fungerar. Maskinerna kommer idag från Kina och även här måste europeisk teknik utvecklas. Ofta måste en batterifabrik dessutom liera sig med en fordonstillverkare för att kunna överleva.

Och vad tror Daniel Brandell om framtiden förutom att litiumjonbatterierna dominerar?

– På kort sikt kommer det att bli mer kisel i anoder och mer nickel i katoder. Batterier kommer att leva längre, bli säkrare och billigare. Vi kommer att se nya batterikemier och jag hoppas på en större batteriflora. Batterier kommer att användas på fler ställen. Men det ska vara rätt batteri på rätt plats! Det finns en enorm potential för nya tekniska och kemiska lösningar. □



Tänka vilt och samtidigt realistiskt. Pröva nya idéer och om de fungerar ställa frågan om de är möjliga att genomföra. Patrik Johansson är professor i fysik på avdelningen för materialfysik och institutionen för fysik vid Chalmers. Han är en stjärna på den internationella batterihimlen och leder en forskargrupp som försöker göra det okända mindre okänt.

N

ya batteri-koncept är väl en grej som jag driver, säger han. Vi prövar nya kemier och material

och framförallt andra metaller än litium. Jag ser min forskning som applikationsinspirerad. Om grundforskningen lyckas – vad kan den ge i praktiken i en applikation? Den stora biten är att i labbet tidigt sortera bort saker som inte bär hela vägen.

– Vi måste börja någonstans. 99 procent av våra idéer kommer troligen inte att fungera, men vi måste forska för att veta vad och jaga den enstaka procenten som eventuellt kan ge något. Forskare arbetar med att lyfta en ny teknologi. Hade vi inte gjort det hade vi inte haft litiumjonbatterier idag. De kom inte fram genom en förbättring av något existerande.

– Om inte vi forskar på det här sättet så gör ingen annan det. Vi måste titta på nya koncept och tänka vildare. Detta då akademien och industrin inte ser risker på samma sätt – vilket vi inte heller ska. Lite löst kan man säga att industrin ber oss att hitta en förbättring av deras produkt. För mig är inte detta forskning utan utveckling.

Praktiska begränsningar

Patrik Johanssons forskning handlar om kemi och material, och bara till en mindre del om elektronik.

– Vi arbetar mycket med kalcium som ett alternativ till litium. Litium dominerar nu och lär göra det i många år till, men det har sina nackdelar. Det är en begränsad resurs. Kalcium däremot är det femte vanligaste elementet i jordskorpan. Men det är svårt att få att fungera elektrolytiskt och det är även hårt och sprött. Men vi forskar även på material från andra vinklar. Både för litium och andra metaller – speciellt nya elektrolyter

– Fasta elektrolyter är något som många forskar på, men vi forskar mest på halvfasta elektrolyter – de är lika säkra men har fundamentalt färre problem med olika mellanytor. En annan inriktning är vattenbaserade elektrolyter som är säkra och i framtiden skulle kunna användas i storskaliga batteriparker där batterier med lägre energidensitet kan fungera.

– Att forska kring nya batteriteknologier baserat på nya material är en sak. En annan är att studera de praktiska begränsningarna. Jag har min bakgrund i beräkningskemi och kan därmed använda kvantmekaniska beräkningar för nya material och har på senare tid börjat beräkna på en annan nivå: ekonomisk och teknisk analys.

I botten av forskningen ligger klimatförändringarna och samhällets strävan bort från fossilenergi.

– Elektricitet är en bra form av energi, säger Patrik Johansson. Det är lättare att flytta på elektroner än bränsle eller gas. Elektricitet är så mycket bättre på alla sätt. Elmotorer är mycket bättre på att omvandla energi

– Förr var det förbränningsmotorn som gällde. Nu ska man helst elektrifiera så mycket som det bara går. Förbränningsmotorn kommer högst troligt att finnas kvar i några nischer. Det är till exempel svårt att ladda upp ett fartyg ute på havet. Men en färja som trafikerar en kortare sträcka är definitivt lämplig att anpassa för batterier och eldrift.

– Man sparar mycket pengar på eldrift och det finns sekundära effekter som kanske inte är allmänt kända. El-driven stadstrafik är tystare och ger renare luft – och höjer värdet på bostäderna.

– Ett argument mot elbilar är den begränsade räckvidden. Men hur ofta behöver du åka så långt som en del alltid tar upp som exempel – att åka till fjällen för skidresa. Förmodligen inte oftare än du har stora kalas för tjugo personer hemma. Och du möblerar inte ditt hem för dessa "extrema händelser". Så bör man nog också tänka om sin elbil, den ska lösa din vardag.

Svenskt drömläge

Batteriutvecklingen drogs igång av transportsektorn som kunde betala de dyra batterierna. Patrik Johansson säger att nu sker en förskjutning mot samhällets förnybara energiförsörjning.

– Det är få länder som i det avseendet har så bra förutsättningar som Sverige som tillsammans med Norge och Kanada är de länder som i särklass har den största andelen vattenkraft i sin energiförsörjning.

Batterier har många fördelar. De svarar på sekunden. Den energi man >

GRUNDFORSKNING MED VILDA IDÉER

stoppar in kan man få tillbaka upp till 90 procent. Det är inga dyra omvandlingsprocesser och få rörliga delar.

– Elektrokemi är väldigt tacksam, säger Patrik Johansson. Det är förhållandevis lite spill i batterifabrikerna och batterierna blir några procent bättre för varje år – och mycket billigare. I dag betalar vi bara en tiondel jämfört med för tio år sedan. Det handlar mest om skalningsfördelar. Produktionskunskapen har ökat mycket de senaste åren. Kemi, teknik och produktion är delar som bidrar till helheten.

– Bakom förbättringen ligger också litiumjonbatteriernas historia, förklarar Patrik Johansson. Vägen dit gick via ett allmänt intresse för litium. Man prövade först ren litiummetall som en av elektoderna, som lagrar tio gånger mer litium än en kolelektrod vilket är dagens lösning: litium lagras i grafit. Anledningen att man övergick till kolelektroder var säkerhetsproblem med metalliskt litium, men idag är det det man återigen vill använda. I slutändan kan det ge cirka 20–30 procent mer energi per vikt och volym i ett batteri. Det innebär ett gigantiskt hopp jämfört med någon-några procent bättre för varje år.

– På 1990-talet handlade batteriforskning nästan enbart om batterier för bärbara applikationer. I dag ligger fokus

på fordon i bred bemärkelse, säger Patrik Johansson. Det är bilar, båtar, flygplan, lastbilar och bussar. Men det forskas också mycket kring batterier för storskalig lagring. Felaktigt sade man tidigare att om det inte funkar på fordon kan man alltid flytta det till storskalig lagring. Men så är det inte utan snarare ett bekvämt sätt att resonera.

– Det ska vara rätt lösning på rätt ställe. Batterier med lägre energidensitet tävlar mot energi med lägre kvalitet, som lämpar sig för storskalig lagring, medan fordon definitivt kräver högprestanda-batterier eller energi av hög kvalitet. Det måste man ha som en utgångspunkt och inte lämpa över det som inte fungerat för fordon till storskalig lagring.

Elnät i balans

En uppgift för den storskaliga lagringen är att stabilisera elnäten. Elnätet är i balans när tillgång och efterfrågan är lika stora. För att balansera nätet behövs extra energi att ta till när det är brist och ett lagringsutrymme när det är överskott.

– Som privatperson kan du ha ett batteri hemma som fungerar som en försäkring. Du lovar elbolaget att ha energi som går att hämta eller plats för överskottsenergi när elbolagen behöver det. Man får pengar trots att det inte händer

någonting, säger Patrik Johansson, som för en del år sedan deltog i ett EU-projekt där de testade sina nya natriumjonbattericeller som reservkraft i spanska bondgårdar – längst ut i nätet där strömmen först stängs av när det blir brist.

Europa och Sverige ligger långt fram vad gäller batteriforskning. Men batteriproduktion är något annat. Först kom Japan starkt och sedan många år är det Kina och till viss del Sydkorea. Men Asien



har till stor del baserat sin produktion på kunskap som utvecklats i Europa och USA.

– Nu finns det ett uppdrag från regeringen till tre ledande lärosäten; Uppsala, Lund, och Chalmers, för att starta speciella utbildningssatsningar för batterier och batterielektronik – under samlingsnamnet COMPEL – för att utbilda personer på alla nivåer, vilket är bra för oss och bra för Sverige. Det vore oansvarigt att inte möta upp mot det framtida behovet av den arbetskraften och kompetensen. Det

gäller Sverige, nationalekonomi och våra studenter, säger Patrik Johansson.

Och hur ser framtiden ut?

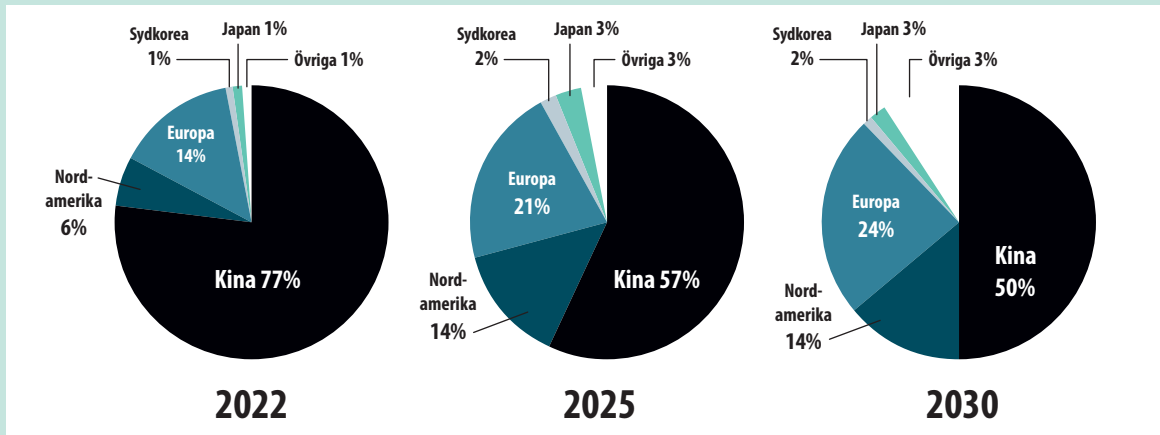
– Litiumjonbatterierna kommer att finnas kvar för överskådlig framtid. Natriumjonbatterier har kommit in på marknaden och kan nog hitta en ganska stor nisch. Så långt vågar jag spå fram till 2030. Har du inget som fungerar i labbet idag så blir det inte verklighet 2030. Vi vet ju dock inte vad som är på gång i företagen, men det finns också mycket problem med det som rapporteras i den vetenskapliga litteraturen.

– Vi kan ta exemplet metallluftbatterier som det pratades mycket om, men visade sig svårare än vad många påstod. Det kom en hel del vinklad rapportering och så blev det en självförstärkande effekt. Forskarna sökte sig till området och det gav ett intryck av att mycket hände. Men teknologin lyfte inte. Kunskapen ökade visserligen, man lärde sig väldigt mycket om varför olika delar inte fungerar. Vi ser liknande problem idag – med olika ”superbatterier” som lanseras med ”fantastiska prestanda” – ofta från forskargrupper som lockats av att batterier är ett hett forskningsfält.

– Så blir det ibland. Det finns hajper. Och vi batteriforskare är inte utan skuld. □

Fördelning av gigafabriker för elfordon i världen 2022–2030

Att möta behovet av elbilsbatterier kommer att kräva nya batterigigafabriker



Källa: GlobalData

BATTERIETS GRUNDER

Ett batteri är en behållare som består av en eller flera battericeller. Varje battericell kan liknas vid en liten fabrik som omvandlar kemisk energi till elektricitet genom elektrokemiska reaktioner.

Batteriets huvudkomponenter

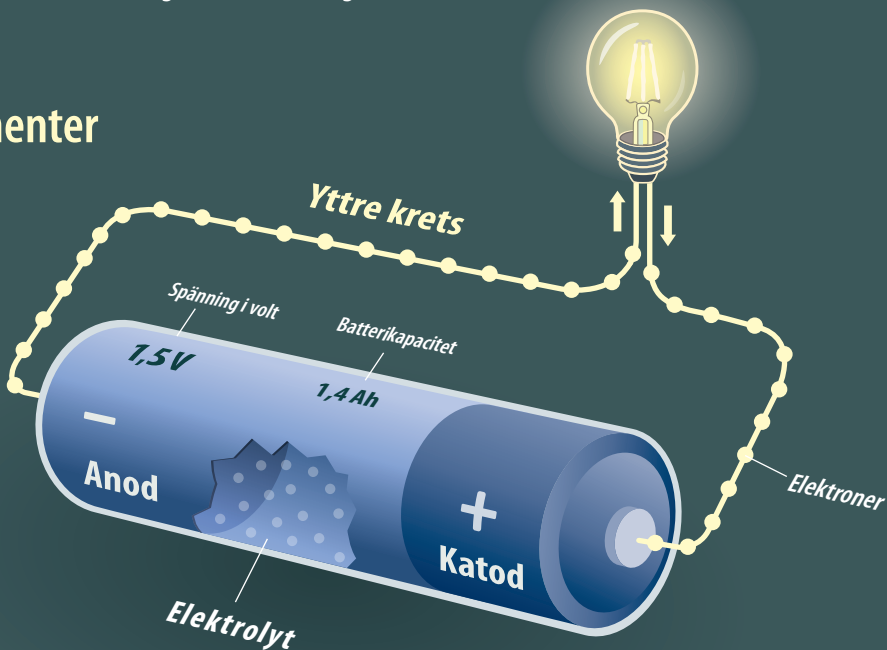
- Anoden – som är den negativa elektroden
- Katoden – som är den positiva elektroden
- Elektrolyten – som tillåter katod och anod att reagera elektrokemisk med varandra
- En yttre krets – den väg elektronerna färdas

Anoden och katoden består av olika, elektrokemiskt lämpliga material.

När ett batteri ansluts till en yttre krets aktiveras den elektrokemiska reaktionen. Elektronen flödar från anoden, genom den yttre kretsen till katoden och kan på så sätt driva en ansluten enhet.

En typisk battericell har en spänning på några få volt.

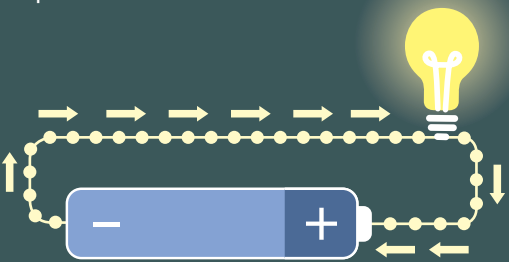
Batterikapaciteten mäts i amperetimmar (Ah) och ger en indikation om batteriets drifttid.



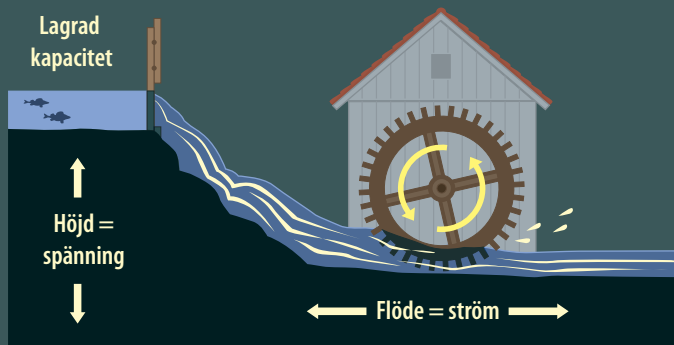
Den elektrokemiska processen beskrivs närmare på nästa uppslag.

Elektroner är drivande

Elektronerna förbrukas inte av det batteriet är uppkopplat mot, utan passerar och driver den inkopplade enheten, exempelvis en lampa eller en motor.

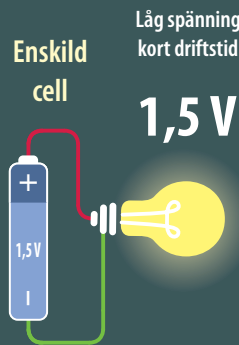


En liknelse är hur strömmande vatten driver ett kvarnhjul.

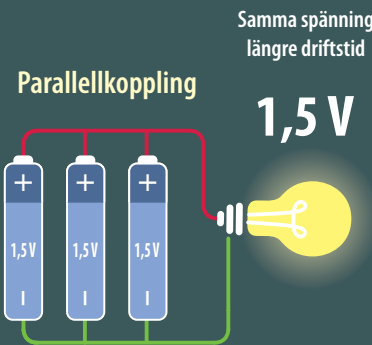


Parallellkoppling och seriekoppling

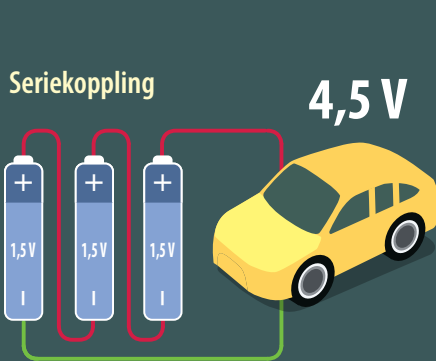
En enskild battericell är inte särskilt kraftfull. Den har en typisk spänning på några få volt och begränsad drifttid. Därför använder man olika kombinationer av parallellkoppling och seriekoppling när man bygger batteripack. Ett batteripack i en elbil kan bestå av upp till 10 000 battericeller sammankopplade för att nå en spänning på upp till 800 volt och acceptabel räckvidd.



En enskild battericell har relativt låg spänning och begränsad kapacitet.



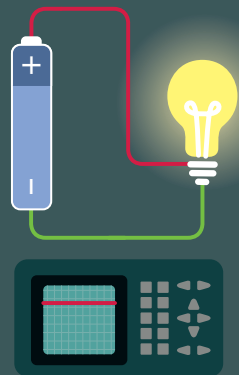
Genom att koppla tre celler parallellt så erhålls samma spänning men kapaciteten blir tre gånger högre. Använder man samma lampa så blir drifttiden tre gånger längre.



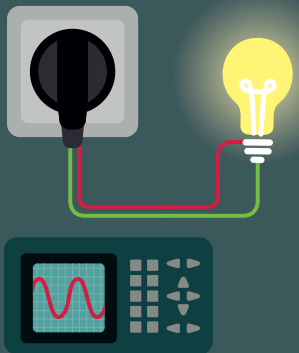
Om du har en annan applikation som kräver högre spänning – till exempel en leksaksbil på 4,5 volt – behöver man istället koppla battericellerna i serie. Men energimängden hos de sammankopplade battericellerna är densamma som i föregående exempel.

Likström eller växelström

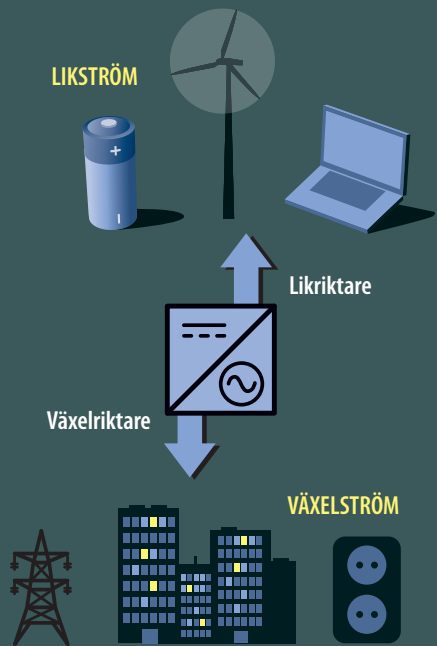
Batterier producerar alltid likström medan ett vägguttag levererar växelström. Om ett vindkraftverk är av en typ som producerar likström måste strömmen omvandlas med en växelriktare innan den kan distribueras till hushållen. Ska ett likströmsbatteri i en dator laddas från ett vägguttag måste en likriktare användas.



Likström – rak elektronström



Växelström – växlande elektronström

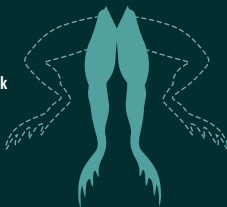


Källor: Chalmers, FMV

1780

Luigi Galvani

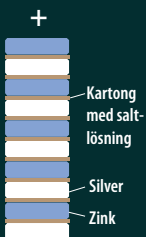
Grodeexperimentet som visar att en elektromotorisk kraft uppstår som får grodorna att rycka till när olika metaller får kontakt via elektrolyt.



1800

Alessandro Volta

Första kemiska batteriet bestående av en stapel med koppar- och zinksivor som separerades från varandra med kartongskivor indränkta med en saltlösning.



1859

Gaston Planté

Första laddbara blycellen.

1866

Georges Leclanché

Första primitiva torrcellen, föregångaren till dagens alkaliska primärceller.

1881

Felix de Lalande och Georges Chaperon

Patenterar den första alkaliska cellen.

1884

Tomas Parker

Den första elbilen för försäljning.

1899

Waldemar Jungner

Uppfinnar den första laddbara cellen med alkalisk elektrolyt.

1902

Thomas Edison

Utvecklar ett nickel-järn-batteri med elektrolyt innehållande litiumhydroxid

1942

Samuel Ruben

Uppfinnar kvicksilveroxidcellen

1973

Martin Cooper (Motorola)

Första experimentella mobiltelefonsamtal.

1989

Nickel-metallhydrid ackumulatör

De första NiMH-ackumulatorerna blir kommersiellt tillgängliga.

1991

Litiumjon-ackumulatör

Sony kommersialiserar litiumjon-ackumulatör som snart hittas i otaliga konsumentprodukter.

2008

Tesla Roadster

Teslas lilla sportbil följs snart åt av flera modeller och kickar på allvar igång elbilsrevolutionen.



2020-talet

Litium-järnfosfat ackumulatör (LFP)

LFP är en kemi som inte bygger på humanitära och politiskt känsliga metaller som kobolt och nickel, den har också bra termisk stabilitet. Från att mest använts i batteriparker börjar den allt mer bli ett intressant val för bussar, lastbilar och personbilar.

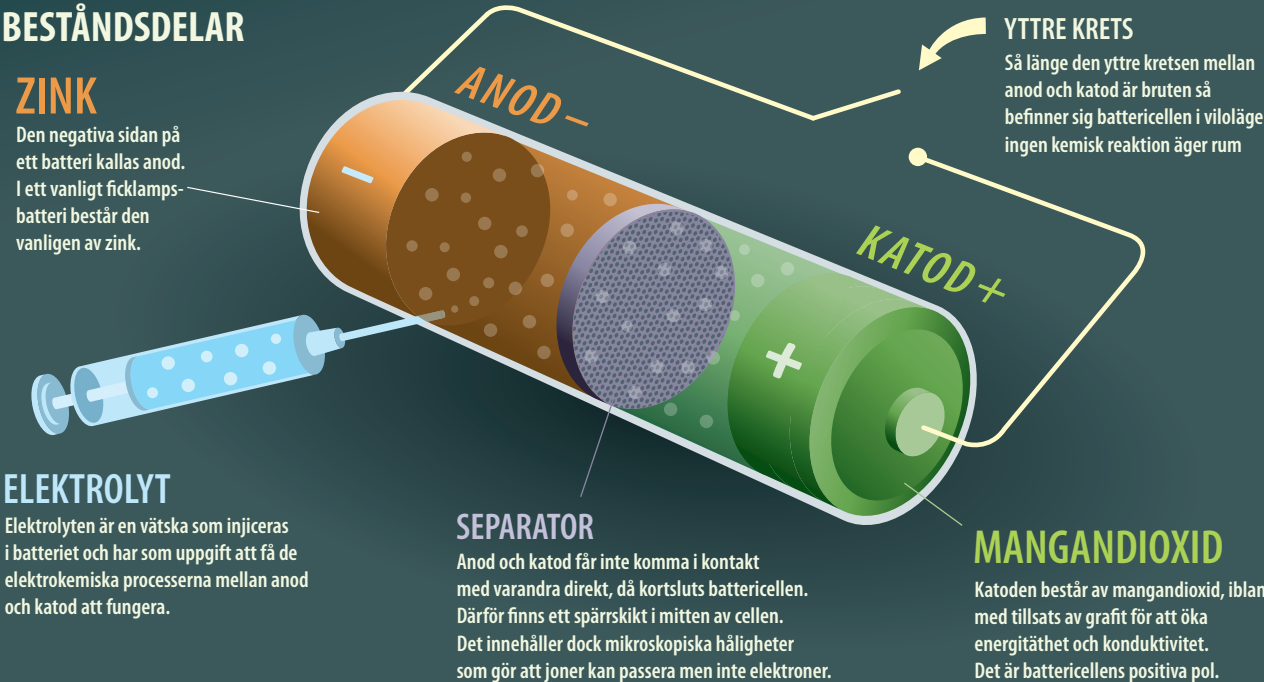
DET ALKALISKA BATTERIET

Det finns ett oräkneligt antal kombinationer av material som kan skapa de elektrokemiska reaktioner som får ett batteri att fungera. Nedan visas en principskiss över ett alkaliskt icke återuppladdningsbart batteri, sådana vi använder i exempelvis ficklampor, leksaker och annat.

1. DET ALKALISKA BATTERIETS BESTÅNDSDELAR

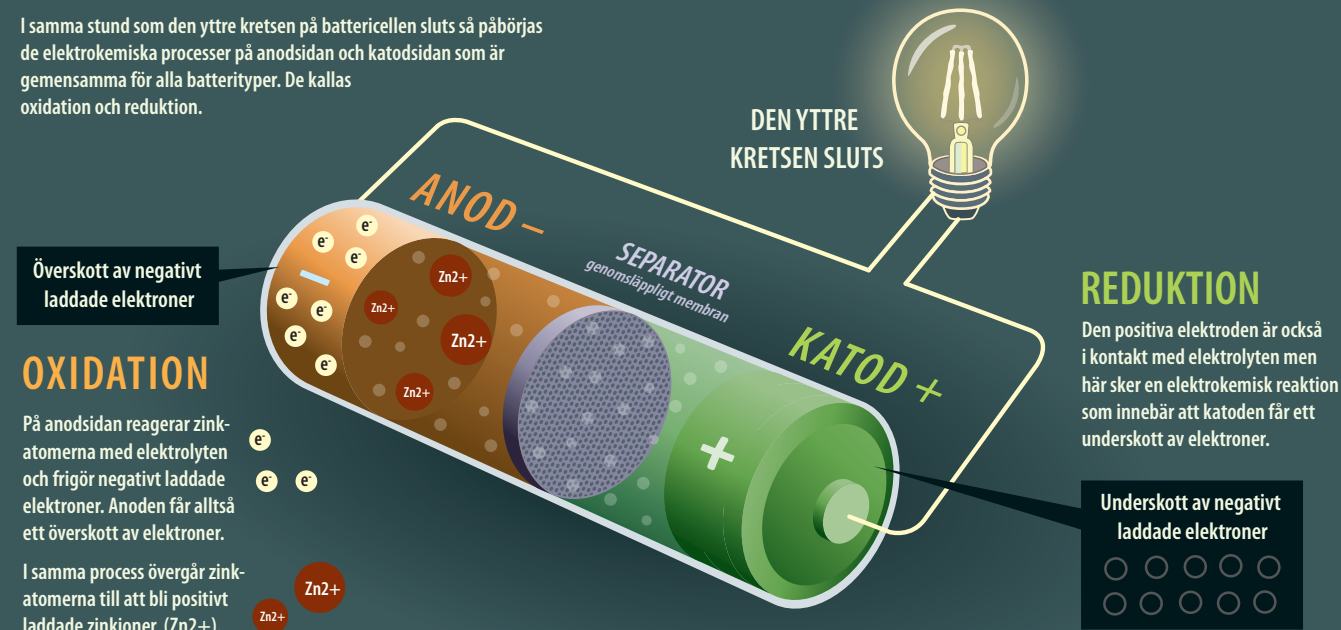
ZINK

Den negativa sidan på ett batteri kallas anod. I ett vanligt ficklampsbatteri består den vanligen av zink.

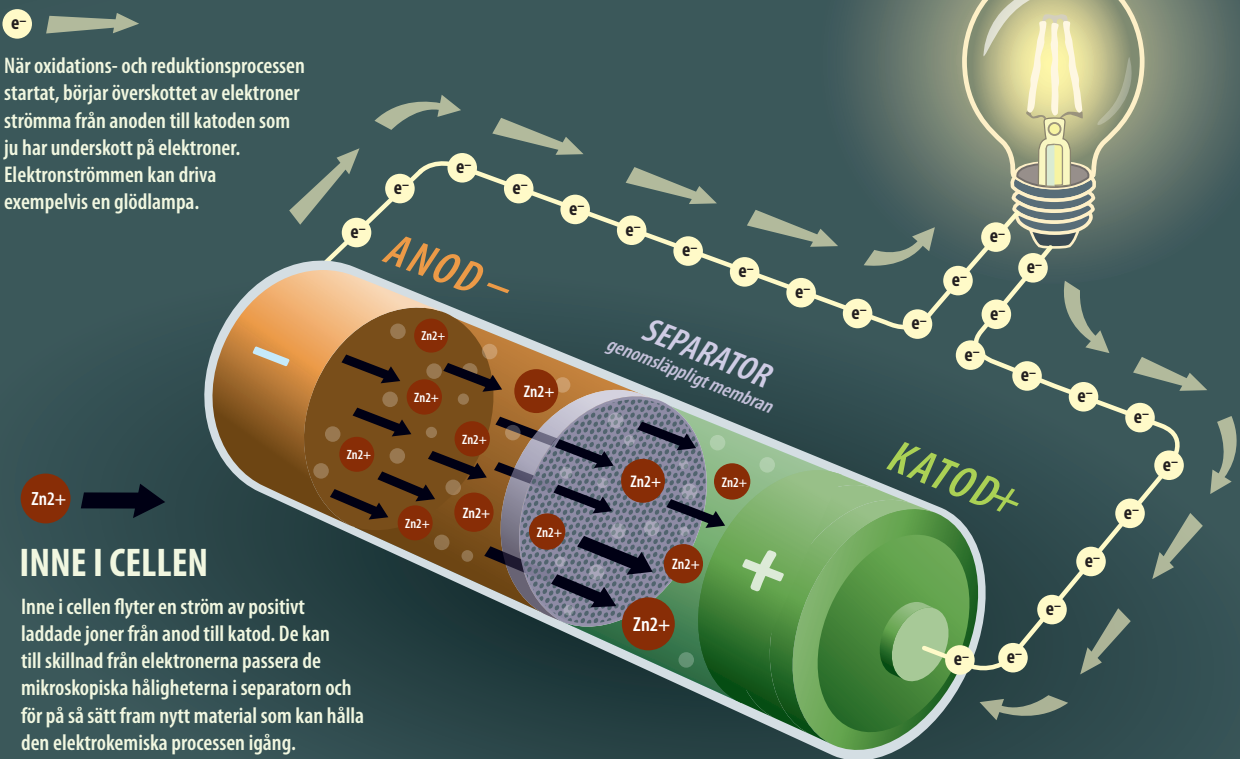


2. DEN YTTRE KRETSEN SLUTS – OXIDATION OCH REDUKTION

I samma stund som den yttre kretsen på battericellen sluts så påbörjas de elektrokemiska processer på anodsidan och katodsidan som är gemensamma för alla batterityper. De kallas oxidation och reduktion.



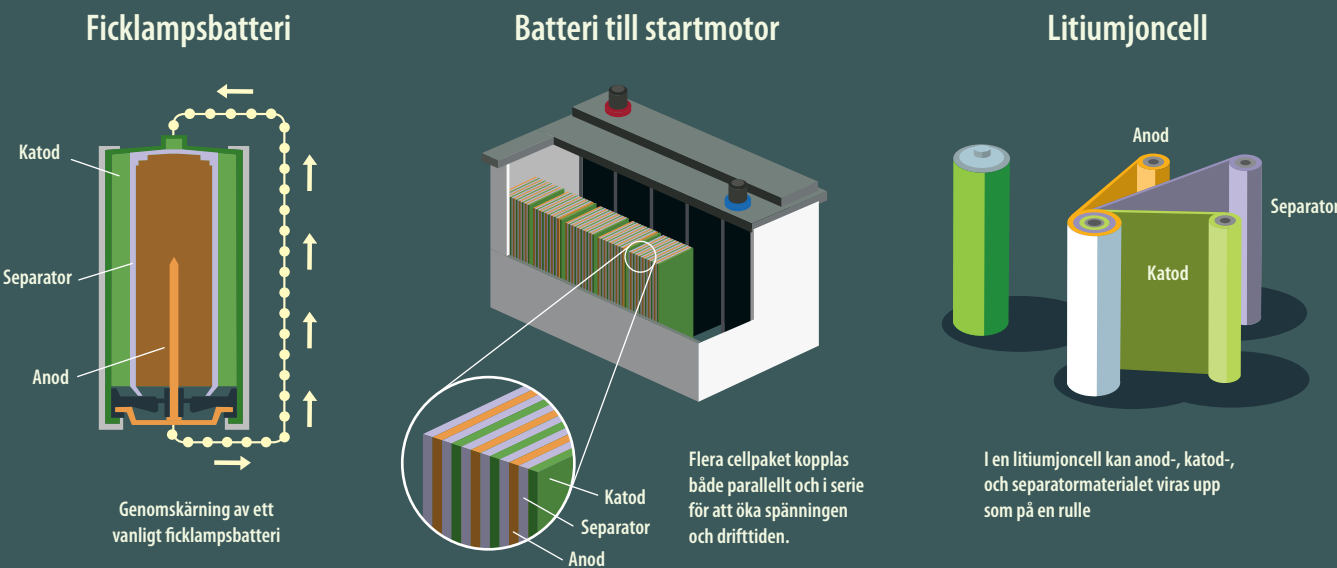
3. BATTERIETS ARBETSCYKEL



Källor: Chalmers, FMV

OLIKA FORMER OCH KEMIER – SAMMA PRINCIP

Oavsett om det är ett ficklampsbatteri, en knappcell till en hörapparat eller ett uppladdningsbart bilbatteri så arbetar alla batterier på samma sätt. Den kemiska sammansättningen i batteriet kan variera. Även formfaktorn och antalet sammankopplade celler kan variera stort, men grundprincipen är densamma.



BATTERITYPER OCH DERAS FÖR- OCH NACKDELAR

Källor: Chalmers, FMV, Batteriföreningen

Engångsbatterier (primärbatterier)

När allt material på anodsidan oxiderat i ett engångsbatteri, går det inte att backa processen och dra nytta av batteriet en gång till. Fördelarna är att de är billiga eller i vissa sammanhang tillräckligt långlivade för sitt ändamål.

Alkaliskt batteri

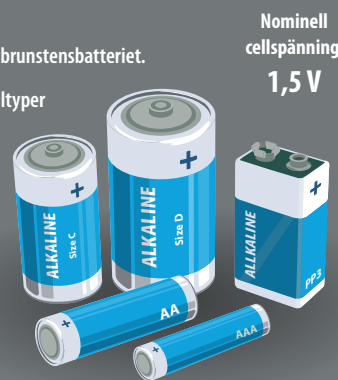
Uppfunns på 1940-talet och är en utveckling av brunnstensbatteriet som i princip försvunnit från marknaden. Elektrolyten är kaliumhydroxid istället för ammoniumklorid och zinkanoden (placerad inne i battericellen) är i pulverform vilket ökar kapaciteten betydligt jämfört med brunnstensbatteriet.

FÖRDELAR

- 5–8 gånger så lång livslängd än brunnstensbatteriet.
- Ogiftig jämfört med de flesta celltyper om än inte helt ofarlig.

NACKDELAR

- Hållbarheten är inte särskilt lång (upp till 3 år)
- Fungerar dåligt i kyla.



Silveroxidbatteri

Uppfunns av Alessandro Volta redan på 1800-talet. Även här används zink på anodsidan men katoden består av silveroxid. Batteritypen är vanligast i små storlekar, vanligen som knappbatterier. Mängden silver som då används är liten vilket gör att batteriet inte blir för dyrt. Större batterier kan förekomma exempelvis inom rymdindustrin.

FÖRDELAR

- Lång livslängd
- Kan lagras mycket länge
- Cellerna upprätthåller en nästan konstant nominell spänning under urladdning tills de är helt förbrukade.

NACKDELAR

- Oftast för dyra för större applikationer.



Litium-metallbatterier

Litiummetallbatteriet har metalliskt litium i anoddelen men ska inte förväxlas med det laddningsbara litiumjon-batteriet. På katodsidan kan flera olika kemier användas vilket ger varierande egenskaper.

De första litium-metallbatterier dök upp på marknaden under 1970-talet. De kännetecknas av mycket lång livslängd och används bland annat i implanterbara medicinska apparater.

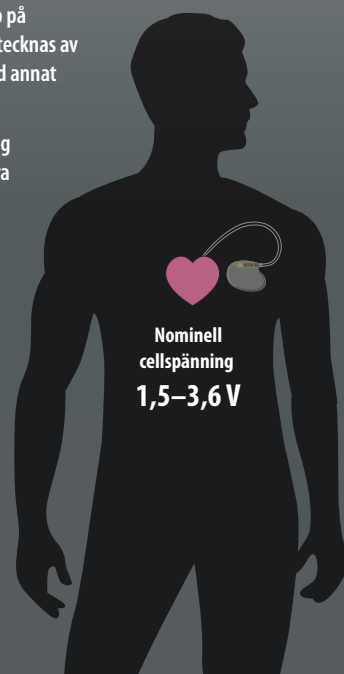
De flesta litium-metallbatterierna är idag engångsbatterier även om laddningsbara versioner är under utveckling.

FÖRDELAR

- Lång livslängd och lagringslängd.
- Specialdesignade versioner kan driva en pacemaker upp till 15 år.

NACKDELAR

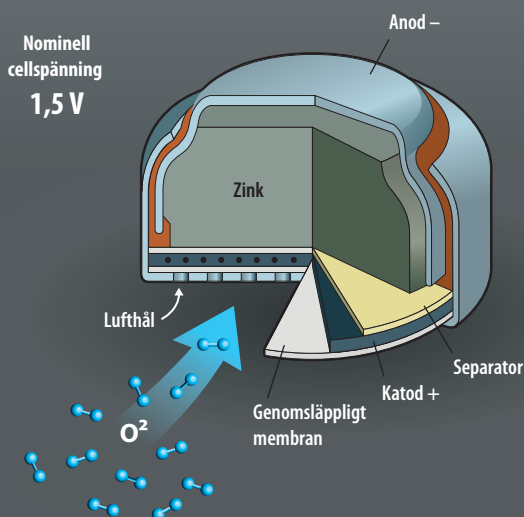
- Dyrare än andra engångsbatterier



Zink-luftbatteri

Zink-luft-batterier används idag framför allt till hörapparater.

Anoden består av poröst zink och katoden är helt enkelt syret i luften. På katodsidan är batteriet därför försett med små lufthål så att syret kan komma in i batteriet.

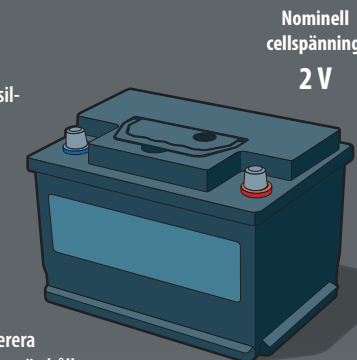


Laddningsbara batterier (sekundärbatterier eller ackumulatorer)

Genom att tillföra en elektronström kan dessa batterityper återladdas. Om cellen sköts på rätt sätt kan den återanvändas 100-tals och i vissa fall 1000-tals gånger. Framförallt framstegen inom litiumjon-kemin har lett till det stora genombrottet för elfordon under början av 2010-talet.

Blyackumulator

Används framförallt som startbatteri i fossil-drivna fordon. Anoden består av rent bly, katoden av blyoxid samt en elektrolyt bestående av svavelsyra utspädd med destillerat vatten.



FÖRDELAR

- Relativt säkert
- Bilbatterier är designade så de kan leverera höga strömmar vilket gör att cellerna upprätthåller ett relativt högt effekt-till-vikt-förhållande.

NACKDELAR

- Innehåller den giftiga och miljöfarliga tungmetallen bly
- Låg energitäthet

Nickel-kadmiumbatteri (NiCd)

Gammal kemi som tillverkats i snart 100 år och har tidigare använts som det huvudsakliga laddningsbara alternativet till både bärbar och stationär utrustning. Är idag på grund av den giftiga tungmetallen kadmium nästan helt förbjuden civilt inom EU.



FÖRDELAR

- Hög effekttäthet
- Tål många laddningscykler

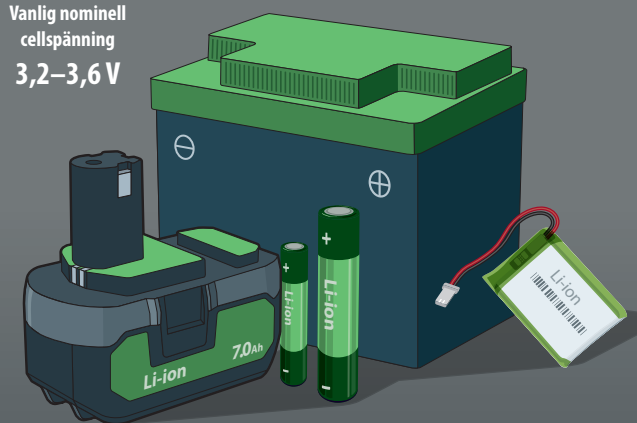
NACKDELAR

- Innehåller den giftiga och miljöfarliga tungmetallen kadmium
- Kräver noggranna laddningsrutiner för att inte tappa prestanda.

Litium-jonbatteri

Batteriernas superkändis. Introducerades under 1990-talet och är den vanligaste uppladdningsbara batteritypen för elbilar, elfordon, elverktyg och så gott som alla konsumentprodukter. Den idag vanligaste varianten har en grafitmix som kan lagra litium på anodsidan och en blandning av mangan, nickel och kobolt på katodsidan, men det finns många andra kombinationer på katodsidan vilket ger varierande batteriegenskaper – se sid 24–25.

Vanlig nominell cellspänning
3,2–3,6 V



FÖRDELAR

- Batteritypen med högst effekt- och energitäthet i relation till pris.
- Lång livslängd och lagringstid

NACKDELAR

- Risk för brand och explosion om batteriet inte hanteras på rätt sätt vid laddning och användning (se BMS-battery management system på sid xx-xx).
- Ett litiumjon-batteri som brunnit måste kylas ordentligt, annars finns risk för att det tar eld igen.

Nickel-metallhydridbatteri (NiMH)

Introducerades kommersiellt 1989. Genom att variera metallegeringen på anodsidan kan cellerna ges olika egenskaper avseende temperaturlämplighet, effektuttag och kapacitet.



FÖRDELAR

- Mer miljövänlig än NiCd-batteriet.
- Högre energitäthet än NiCd-batteriet.
- Inte lika ömtålig och brandfarlig som litiumjon-batteriet.

NACKDELAR

- Kräver liksom NiCd noggranna laddningsrutiner för att inte tappa prestanda. Dock inte lika känslig som NiCd.

Litium-polymerbatteri

Grundbetydelsen av litium-polymerbatteriet är att det är en variant av litiumjon-batteriet som använder en polymerbaserad elektrolyt istället för flytande elektrolyt. Men det som säljs som litium-polymerbatterier idag har ofta vanlig flytande elektrolyt (marknadsföringsknep). De är i praktiken vanliga litiumjon-batterier med ett flexibelt hölje av folie vilket gör batteriet tunnare och lättare. Kallas även pouchbatteri.



FÖRDELAR

- Äkta litium-polymer med polymerbaserad elektrolyt är ovanliga men kan ha högre energiinhåll än vanliga litiumjon-batterier med flytande elektrolyt.

NACKDELAR

- Äkta litium-polymer är dyrare än litiumjon-batterier med flytande elektrolyt.



Torsten Wik är professor i system- och reglerteknik vid Chalmers tekniska högskola och leder forskargruppen reglerteknik. I gruppens

laboratorium sitter massor av små gröna batterier på rad. De laddas upp och laddas ur. Det här pågår timme efter timme, dag efter dag. Här letar man efter batteriernas inre liv för att kunna optimera användningen. Batteriet kan ses som en svart låda där insynen är dålig. Det är det som gör forskningen så svår.

– Ett batteri är en elektrokemisk fabrik. Vi kan mäta ström och spänning och ibland temperaturen på utsidan. Det är det enda vi har att gå på, säger Torsten Wik. För att analysera batteriernas inre liv har vi därför kompilerade modeller som relaterar till våra mätningar. Som reglertekniker är vi experter på att sedan så att säga baklänges räkna fram det vi vill veta från mätningarna.

– Vi vill få ut så mycket effekt och energi som möjligt och samtidigt öka batteriernas livslängd. Det innebär att gränserna för batteriernas användning behöver kunna flyttas. Då måste vi göra

avvägningar mellan effekt, energi och livslängd. Det är ett komplicerat spel och vi måste hela tiden tänka på säkerheten så att batteriet inte blir farligt.

Battery management

Batteriets användning styrs med mjukvara. Det kallas system för batterihantering eller Battery Management System, BMS.

– Vi skapar modeller nere på atomnivå för att förstå hela kedjan

»Vi vill få ut så mycket effekt och energi som möjligt och samtidigt öka batteriernas livslängd. Det innebär att gränserna för batteriernas användning behöver kunna flyttas.«

upp till en batteripark för att sedan ta fram algoritmerna för mjukvaran. De är inte perfekta, men blir bättre och bättre, säger Torsten Wik.

För att begripa hur batteriet fungerar kan det hjälpa att ta till bilder.

– Jag tänker att det är anoden som fylls med energi när man laddar. Vi jobbar mycket med snabbaddning och hur celler kan slås av och på för att öka livslängd och användbar energi. Om en battericell i ett batteripack är mer laddat än grannen så ökar man uttaget från det batteriet. Det kallas för passiv balansering. Traditionellt kan man inte det och det är därför som man ska byta alla batterierna i till exempel en ficklampa och inte sätta dit bara ett nytt.

– Vårt slutresultat är olika datorprogram. Ibland bygger vi battericeller, men mest samarbetar vi med andra som är specialister på att bygga batterier.▷

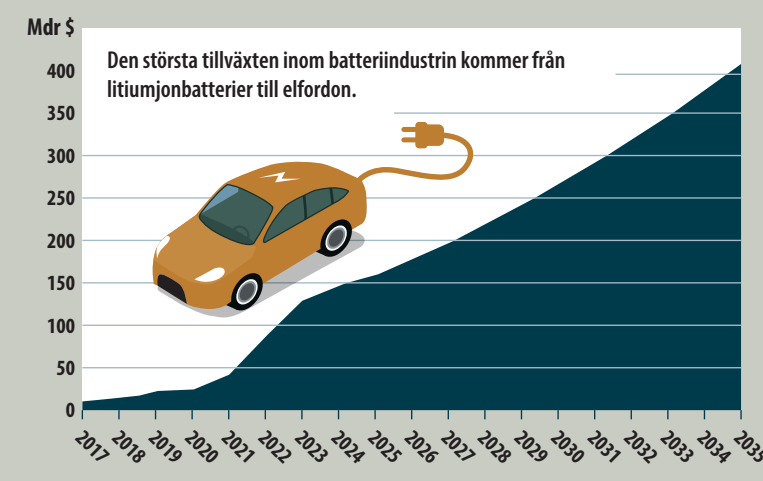
Bland batteriernas rykande pistoler

Det började för tolv år sedan. Jag fick då en uppgift att studera hur mycket effekt man kunde ta ut ur ett batteri under en viss tid. Det kan ju inte vara så svårt, tänkte jag.

Tillsammans med en doktorand borde vi fixa det här på några år. Nu är vi 17 personer, och antalet problem att lösa bara fortsätter att växa.

Litiumjon-marknaden växer

Passerar 400 miljarder dollar 2035



Källa: GlobalData

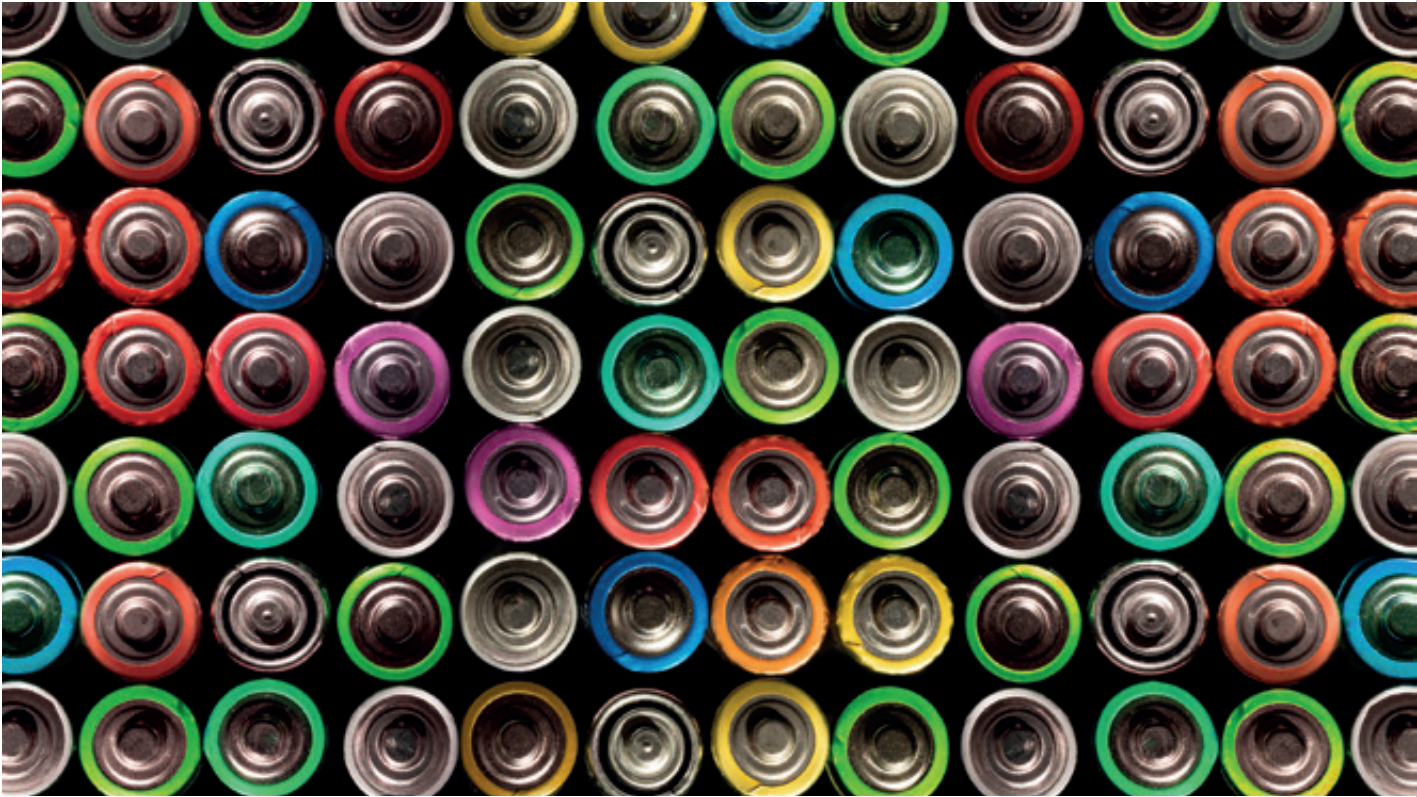


Foto: Getty Images, Anastasia Krivenok

Sanning på kvantnivå

Torsten Wiks forskargrupp har nästan bara studerat olika varianter av litiumjonbatterier. Grafiten i anoden byggs upp av flera lager grafen och där inträffar fenomen som forskarna inte riktigt kan förklara. Litiumjonerna lägger sig mellan grafenlagren i några olika strukturer. Det här sker i fyra faser och av sig självt tills batteriet är fulladdat.

– För att närma sig sanningen måste vi nog ned på kvantnivå, säger Torsten Wik. Varje fas har hastighetsgränser för jonerna. Om vi vet i vilken fas batteriet är vet vi bättre hur vi ska ladda det. Teoretiskt kan vi räkna ut det. För att veta säkert måste vi in i en synkrotron som till exempel Max IV i Lund där partiklar accelereras.

Om man tänker sig att det finns en hammare som slår in joner som kilar mellan grafenlagren så är det kanske lättare att förstå att anoden sväller när batteriet laddar och krymper när det laddar ur.

Laddning och urladdning spelar stor roll för ett batteris åldrande.

– Generellt så tål batteriet urladdning bättre än laddning. Men stora urladdningar bryter ned materialet i batteriet snabbare, säger Torsten Wik. Vi pressar batterierna för att se hur de åldras.

Problemet är att forskarna inte får svar på om de har rätt förrän tiden har gått. De måste hela tiden gissa sig fram. De är omgivna av rykande pistoler.

– I väntan på att tiden är mogen används modeller för att se in i batteriet.

Frågan om batteriers livslängd brukar komma upp när elbilarna ska möta vinterkylan.

– När man gissar livslängden på ett batteri så kör man hårt i ett laboratorium för att se hur batteriet tappar kapacitet. I verkligheten verkar det gå långsammare. Det beror på att bilföraren på något sätt är snällare mot batteriet än forskaren i labbet. Och så måste tillverkaren ta till säkerhetsmarginaler för det blir väldigt dyrt att ersätta batteriet innan garantitiden går ut. □



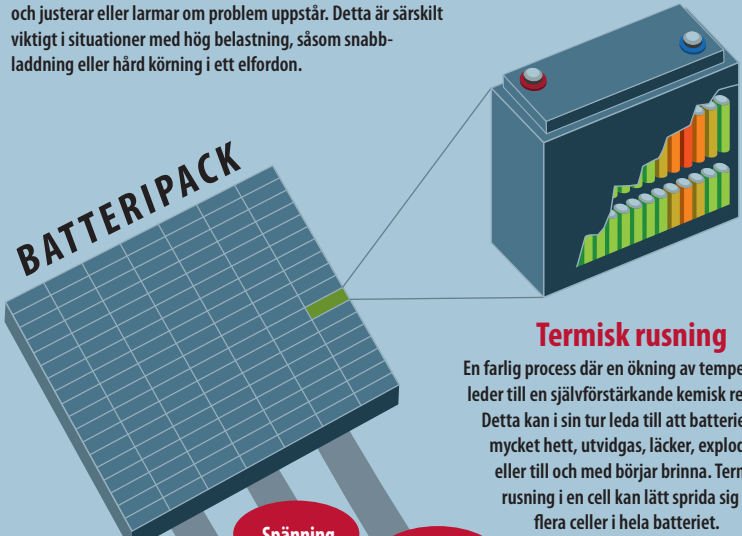
«När man gissar livslängden på ett batteri så kör man hårt i ett laboratorium för att se hur batteriet tappar kapacitet. I verkligheten verkar det gå långsammare. Det beror på att bilföraren på något sätt är snällare mot batteriet än forskaren i labbet.»

BMS – Battery Management System

Litiumjonbatterier behöver hanteras noggrant för att undvika överurladdning, överladdning, överhettning och kortslutningar, vilket kan leda till termisk rusning och till och med eldsvåda. Därför är i princip alla elektriska fordon, batterienergilagrar och bärbara elektroniska enheter försedda med ett BMS. Dess huvudsakliga funktion är att övervaka och hantera batteriets prestanda och säkerhet.

TERMISK HANTERING

För att undvika för höga eller låga temperaturer övervakar BMS batteriets status och kan aktivera kyl- eller värmesystem och justerar eller larmar om problem uppstår. Detta är särskilt viktigt i situationer med hög belastning, såsom snabb-laddning eller hård körning i ett elfordon.



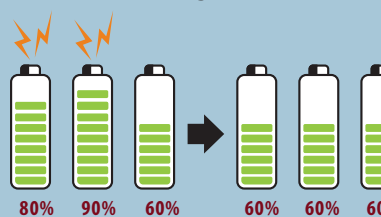
Termisk rusning

En farlig process där en ökning av temperaturen leder till en självförstärkande kemisk reaktion. Detta kan i sin tur leda till att batteriet blir mycket hett, utvidgas, läcker, exploderar eller till och med börjar brinna. Termisk rusning i en cell kan lätt sprida sig till flera celler i hela batteriet.

CELLBALANSERING

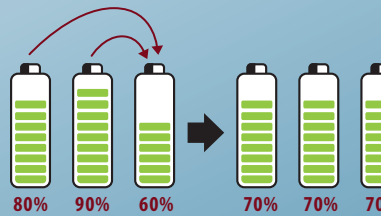
För att maximera batteriets livslängd och effektivitet balanserar BMS de olika cellerna i ett batteripaket. Detta innebär att justera cellspänningarna så att de är lika.

Passiv balansering



De bättre cellerna laddas ur för att uppnå balans i hela batterisystemet. Billigt alternativ men samtidigt slösaaktigt då överskottet försvinner i form av värme.

Aktiv balansering



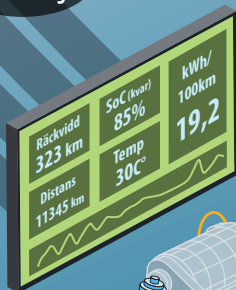
Enligt Robin Hood-principen "ta från dom rika och ge till dom fattiga" så balanseras battericellerna aktivt med hjälp av elektronik. Dyrare och krångligare men effektivare.

ÖVERVAKNING OCH OPTIMERING

Med flera sensorer övervakar BMS kontinuerligt ett batteripacks spänning, temperatur och ström. Utifrån dessa grunddata håller systemet koll på potentiella skadliga tillstånd, som exempelvis överhettning, överladdning, överurladdning och kortslutning. Två viktiga parameter är:

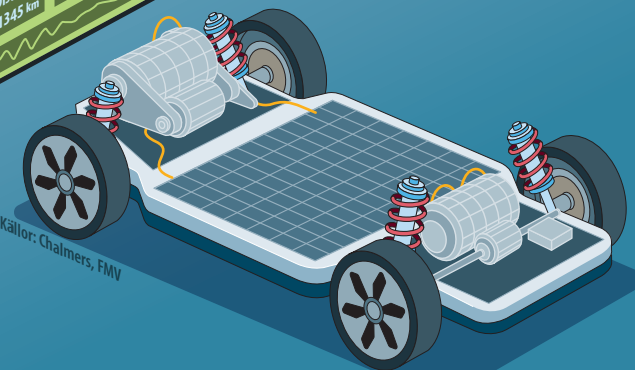
Beräkning av laddtillstånd – SoC (State of Charge)
BMS beräknar det aktuella laddningstillståndet, vilket ger en uppskattning av hur mycket kapacitet som finns kvar i batteriet.

Beräkning av hälsotillstånd – SoH (State of Health)
BMS bedömer batteriets kapacitet jämfört med kapaciteten i ett nytt batteri. Detta kallas SoH och används som ett mått på batteriets hälsa. BMS kan också föreslå justeringar i laddningscykeln för att maximalt bevara cellerna.



Display

BMS kan kommunicera med användaren men även med andra system i ett fordon för att ge statusuppdateringar och varningar i realtid.



LITIUMJONBATTERIET

Det finns idag flera typer av litiumjon-batterier. Det som framför allt skiljer dem åt är vilka material man använder på katodsidan. Olika material ger olika prestanda vad gäller vikt, effektuttag, livslängd, säkerhet och tålighet mot kyla.

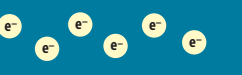
ANODEN

Anodsidan består av en grafitmix där man ibland blandar i lite kisel för att öka energitätheten. När batteriet laddas lägger sig litiumatomer varvade mellan lagren av grafit.

Litiumatomerna spjälkas upp i negativt laddade elektroner och positivt laddade litiumjoner.



När batteriet används rusar de negativt laddade elektroner från anoden, via den yttre kretsen mot katoden.

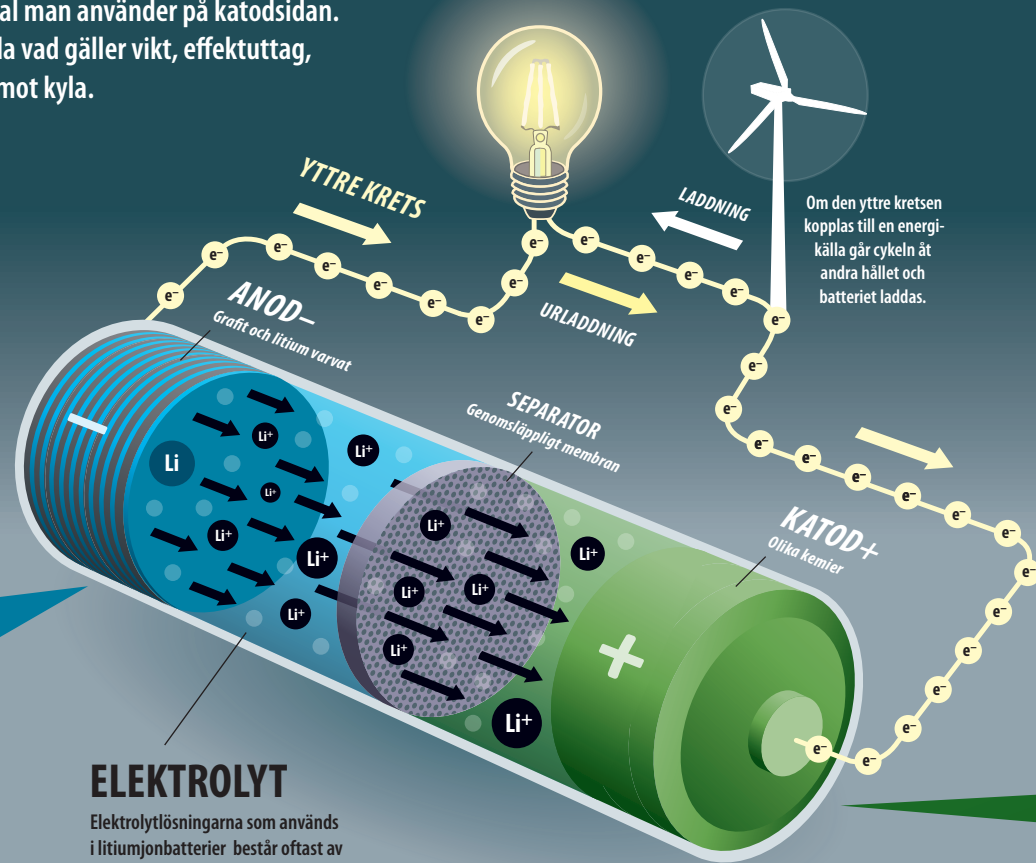


Samtidigt färdas de positivt laddade litiumjonerna internt i cellen mot katodmaterialet vilket håller batteriet igång.



ELEKTROLYT

Elektrolytlösningarna som används i litiumjonbatterier består oftast av organiska lösningsmedel, litiumsalter och tillsatser.



Om den yttre kretsen kopplas till en energikälla går cykeln åt andra hållet och batteriet laddas.

KATODEN (fem vanliga kemier)

Sedan litiumjon-teknologin introducerades kommersiellt av Sony 1991, så har flera olika materialkombinationer testats på katodsidan. En tydlig ambition är att dra ner på vissa metaller som exempelvis kobolt och nickel, på grund av politiska, humanitära och/eller miljömässiga skäl.

• NMC – litium-nickel-mangan-koboltoxid

En av de vanligaste kemierna där proportionerna mellan de tre metallerna varierar, vilket i sin tur ger skiftande prestanda gällande livslängd, energitäthet och säkerhet. Vanlig hos el- och hybridbilstillverkare.

• NCA – litium-nickel-kobolt-aluminiumoxid

Hög energitäthet och livslängd. Tesla har fram till nu till största del använt NCA i sina bilar. Dyrare än NMC på grund av högre innehåll av kobolt.

• LFP – litium-järnfosfat

LFP är en litiumkemi som kommit starkt de senaste åren på grund av stora subventioner från kinesiska staten. Även Tesla går allt mer över till LFP. Bra livslängd och effekttäthet men något sämre energitäthet. En kemi som är billigare, skonsammare för miljön och dessutom termiskt stabilare än de flesta andra kemier.

• LCO – litium-koboltoxid

Var länge den vanligaste kemien för mindre applikationer. Hög energitäthet men klarar relativt låga urladdningsströmmar vilket är en nackdel för elfordon.

• LMO – litium-mangandioxid

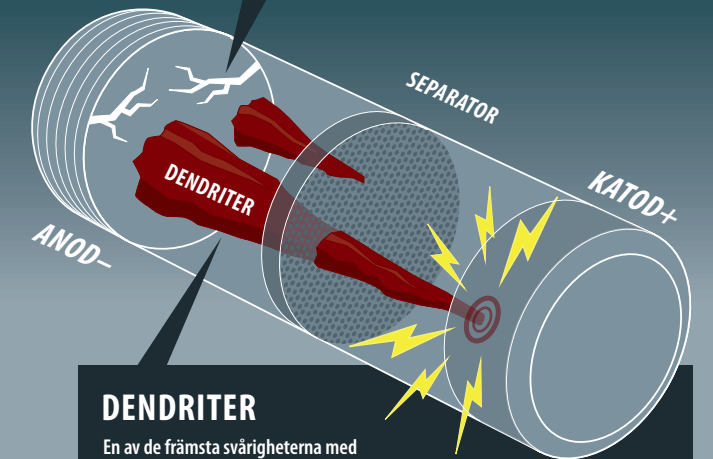
Inte lika känslig för höga temperaturer som LCO och klarar högre effektuttag. Mangan finns tillgängligt i större mängd och utvinningen är inte lika problematisk som hos kobolt. Något sämre livslängd än LCO.

TEKNISKA PROBLEM

I alla batterier pågår flera oönskade processer som leder till försämrad prestanda och energilagringkapacitet.

SPRICKBILDNING OCH KORROSION

Både på anod- och katodsidan finns en hel flora av åldringsmekanismer för litiumjonbatterier, bland annat på grund av utarmning av materialstrukturen och sidoreaktioner med elektrolyten. Volymförändringar mellan olika typer av material gör att sprickor uppstår och en del material tappar kontakt och deaktiveras. Om elektrodreaktionerna resulterar i elektrodeponering eller nya kristallstrukturer är det svårt att komma tillbaka till den ursprungliga formen, dvs. en slät metallyta eller en porös korntstruktur.



DENDRITER

En av de främsta svårigheterna med användningen av litium i batterier är bildandet av dendrit – spetsiga formationer som formas ut från anoden när litiumet flyttas fram och tillbaka mellan anod och katod vid laddning och urladdning. Växer dendriterna sig tillräckligt stora kan de genomborra separatorn vilket kan leda till kortslutning och i värsta fall ett brinnande batteri.

En lösning på problemet är att använda elektrolyt i fast form – så kallade Solid State-batterier – vilka förväntas nå elbilsmarknaden runt 2035–2045.

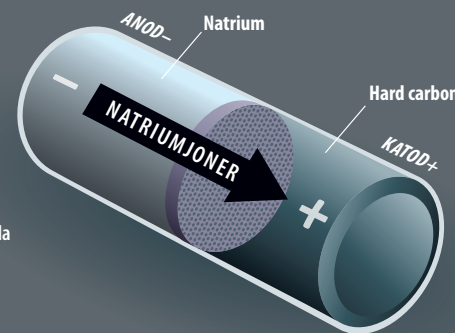
Källor: Chalmers, FMV

FRAMTIDA UTMANARE

NATRIUMJON

Natrium är ett vanligt grundämne, finns i bordsalt, och tillhör samma kemiska familj som litium. Att ersätta litium med natrium på anodsidan skulle kunna ge liknande batteriegenskaper till en lägre kostnad.

En svårighet är att hitta bra katodmaterial då de traditionella katodmaterialen för litumbatterier fungerar dåligt med natrium. En lovande kandidat är en amorf form av grafit kallad "hard carbon".



FÖRDELAR

- Natrium är ett billigt grundämne som finns överallt

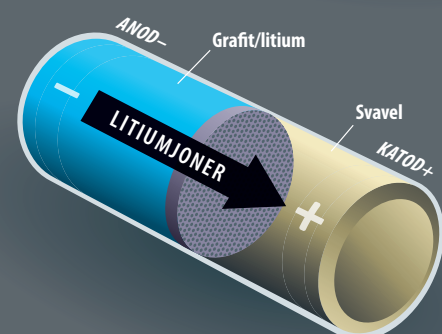
NACKDELAR

- Sämre energitäthet än litium
- Svårigheter med lämpliga material på katodsidan

LITIUM-SVAVEL

En lovande batterikemi som använder det lätta katodmaterialet svavel och skulle kunna ge en flera gånger högre kapacitet per vikt än dagens litiumjon-batterier.

Reaktionerna i litium-svavel-batterier är komplexa. I litium-jon flyttas jonerna mellan anod- och katodmaterialen, medan i litium-svavel en slags omvandlingsreaktion tar plats där svavelkristaller genom flera steg omvandlas till litiumsulfid.



FÖRDELAR

- Skulle kunna ge ett flera gånger effektivare batteri än litiumjonbatteriet.

NACKDELAR

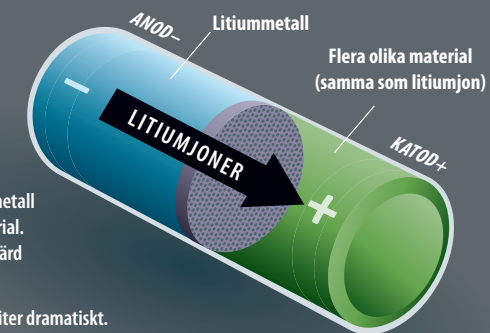
- Komplicerade kemiska reaktioner.

LITIUM-METALL

Litiumjonbatteriet börjar snart nå sin maximala teoretiska kapacitet. Litiumjonbatteriet använder sig ju typiskt av en grafitanod där litiumatomer lägger sig varvade mellan grafitlagren vid laddning.

För att öka kapaciteten kan anoden bytas ut mot ren litiummetall som teoretiskt sett är ett tio gånger mer effektivt anodmaterial. Det gör inte batteriet tio gånger mer effektivt, men en avsevärd prestandahöjning skulle ändå kunna erhållas.

Används rent litium på anodsidan ökar problemen med dendrit dramatiskt.



FÖRDELAR

- Avsevärd prestandaökning skulle kunna erhållas.

NACKDELAR

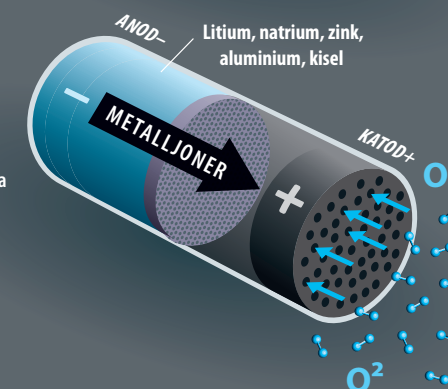
- Stora problem med bildande av dendrit.

METALL-LUFT

Icke laddningsbara batterier av denna typ används redan – exempelvis i hörlappar.

Metall-luft använder syret i luften som katod, på anodsidan används metall. Vilken metall som används kan variera, olika anodmetaller har sina olika för- och nackdelar.

En av de främsta utmaningarna med laddningsbara metall-luftbatterier är att undvika problemet med dendrit.



FÖRDELAR

- Avsevärd prestandaökning skulle kunna erhållas.

NACKDELAR

- Stora problem med bildande av dendrit.

Källor: FMV, Chalmers

Foto: Chalmers tekniska högskola, Henrik Sandsjö

Forskare på Chalmers har lyckats skapa ett batteri av kolfiberkomposit som är styvt som aluminium och tillräckligt energitätt för att kunna användas kommersiellt. Om bilar, flygplan, fartyg eller datorer byggs av ett material som fungerar som både batteri och bärande konstruktion, minskar vikten och energiförbrukningen radikalt.

HEMLIGHETEN BAKOM DET VIKTLÖSA BATTERIET

Batteriet i en elbil är en strukturell parasit. Ju tyngre batteri desto tyngre måste man göra chassit för att bära lasten. Om batteriet även bär last har man skapat ett strukturellt batteri och skapat viktlös energilagring. Då kan en elbil kunna gå upp till 70 procent längre på en laddning, säger Leif Asp som leder en av världens bästa forskargrupper på strukturella batterier.

Leif Asp är professor i lätta kompositmaterial och strukturer vid institutionen för industri- och materialvetenskap på Chalmers tekniska högskola.

Han började att studera polymerteknik i Luleå och har arbetat vid dåvarande Flygtekniska försöksanstalten, FFA och via kompositforskningsinstitutet SI-COMP i Piteå (idag en del av Rise) kom han till Chalmers där han sedan 2015 arbetar på heltid.

Amerikanska försvaret försökte utan större framgång 2007 att göra ett strukturellt batteri. Tanken var att lagra energi i styva och starka strukturer.

Samtidigt fick Leif Asp och hans forskare det att fungera.

– Ibland går det och ibland går det inte. Det är mycket handhavande. Nu har vi utvecklat stabila metoder men det kan ta ett halvår för en doktorand att lära sig hantverket, säger han.

Leif Asp tar ett skosnöre som exempel för att förklara poängen. Skosnöret tar upp draglasten för att hålla skon på plats. Impregnerar man snöret med en plast och låter det härda blir det styvt och materialet tar upp även tryck och skjuvlaster. I ett strukturellt batteri motsvaras snöret av kolfiber och plasten av en strukturell elektrolyt. Denna elektrolyt som innehåller litiumjoner är ett mellanting mellan fast och flytande.

– Strukturen kan bära last lika bra som aluminium, men med lägre vikt, säger Leif Asp. Dessutom minskar risken för brand. Om man kopplar in ett motstånd i kretsen kan mekanisk last alstra ström.

Kolfiber är hemligheten

Försök med strukturella batterier har tidigare stupat på att battericellen antingen är bra mekaniskt eller elektriskt. Genom att använda kolfiber har Leif Asps forskare löst det problemet.

Hemligheten ligger i kolfibern. Kommersiell kolfiber är dyr och gjord för >

Foto: Chalmers tekniska högskola, Henrik Sandsjö

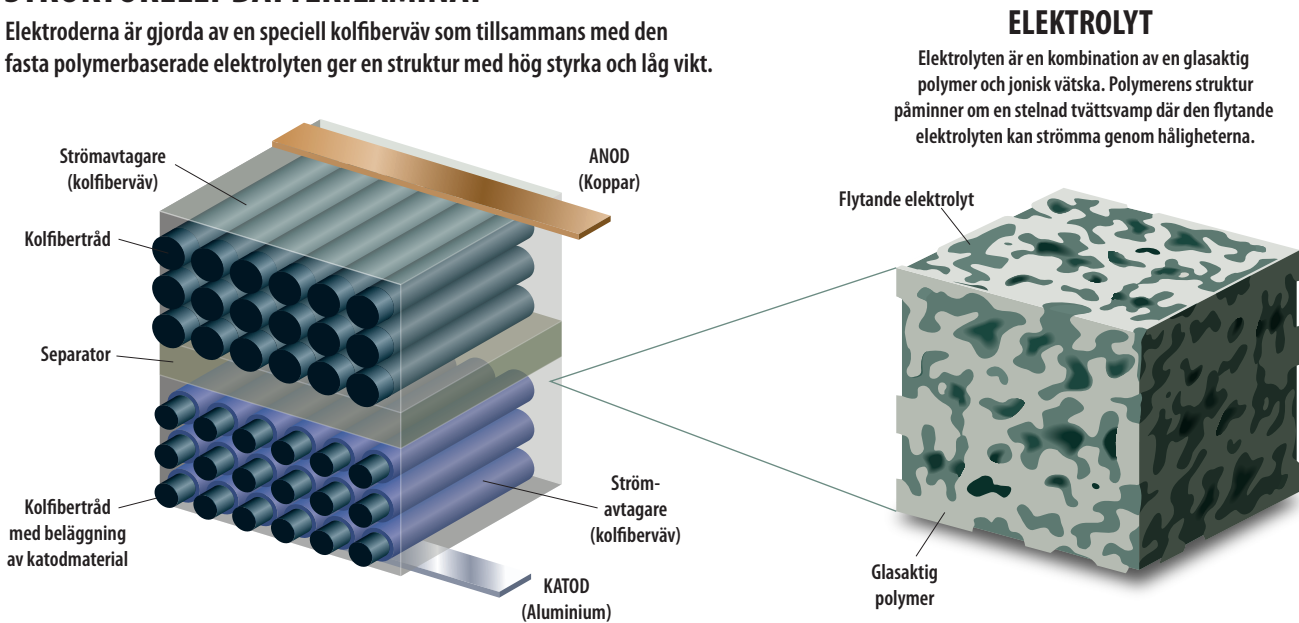


STRUKTURELL ENERGILAGRING

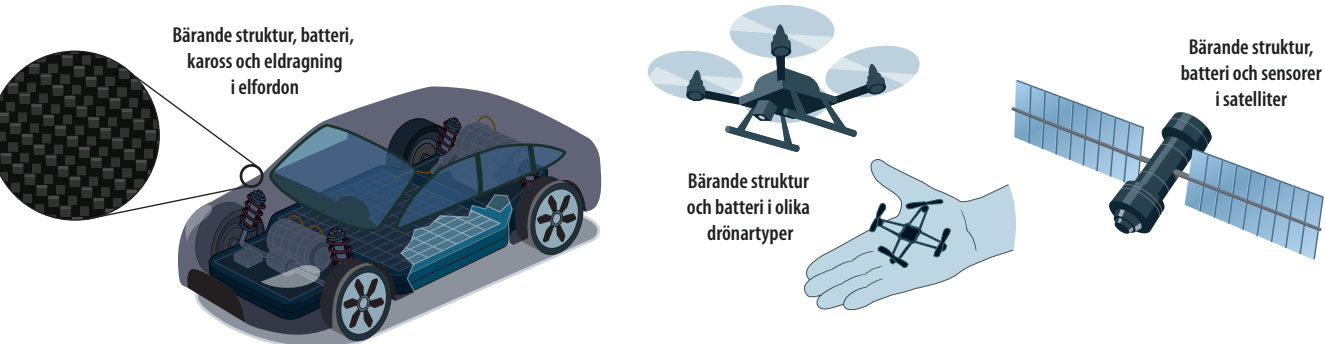
Konceptet bygger på att lagra elektrisk energi i ett multifunktionellt material som också kan fungera som lättviktsstruktur, exempelvis i en elbil eller drönare. Målet är att öka batteritiden och sänka vikten.

STRUKTURELLT BATTERILAMINAT

Elektrodena är gjorda av en speciell kolfiberväv som tillsammans med den fasta polymerbaserade elektrolyten ger en struktur med hög styrka och låg vikt.



EXEMPEL PÅ ANVÄNDNINGSMÅLTÄN

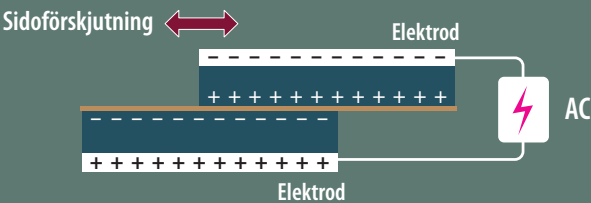


TRIBOELEKTRISKA NANOGENERATORER – TENG

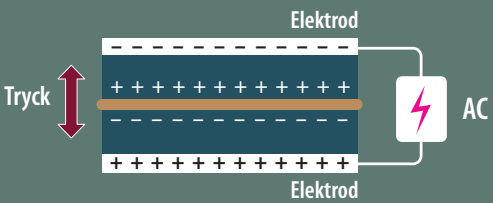
TENG-applikationer kan utvinna elektrisk energi från mekaniska rörelser. Typiska användningsområden kan vara automatiserade sensorsystem eller övervaknings- och säkerhetssystem som kan behöva generera egen energi. I sin enklaste form utsätts två lager med motsatt laddning för upprepat tryck eller sidoförskjutning. Detta gör att elektroner flödar mellan lagren och via anslutna elektroder kan en växelström uppstå.

Källa: Chalmers

Sidoställt glidningsläge



Vertikal kontakt-separation



»Strukturella batterier kan göras mycket små. Kanske kan de användas på ställen som vi idag inte tänker på.«

att klara mycket hårda krav som till exempel inom flygindustrin. Den höga styvhet som krävs i ett flygplan behövs inte i en bil. Forskarna har studerat mikrostrukturen hos olika typer av kommersiella kolfiber och vet nu hur multifunktionella kolfiber ska tillverkas.

Kolfiber används som elektroder i litiumjonbatterier och klarar tre uppgifter samtidigt – elektrod, strömledare och bärande material.

Leif Asp säger att batteriet i en elbil väger för mycket. I en roadster från Tesla vägde batteriet 450 kilo och chassi och struktur 780 kilo. I rymden kostar en nyttolast 50 000 kronor per kilo.

– Våra batterier, om de byggs, kan nog inte konkurrera prestandamässigt med dagens batterier i elbilar. Men man måste tänka i systemtermer och då vinner ett strukturellt batteri. En minskad vikt med tio procent minskar energiförbrukningen med över sju procent. Får man in mer energi utan att öka vikten minskar systemvikten och man får energieffektivare bilar, båtar och flygplan. Fordonsindustrin måste tänka om. Man har betraktat batteriet och strukturen för sig. När batteriet byggs in i strukturen ändras förutsättningarna. Och det finns ett behov överlag av lättare batterier såväl i handverktyg som i bärbara datorer. Strukturella batterier kan göras mycket små och skräddarsys för vissa utrymmen. Det gör att batterier kanske kan användas på ställen som man idag inte tänker på.

Blandning i forskningen

Mycket av Chalmers forskning har skett tillsammans med Kungliga tekniska högskolan (KTH), som visat att kolfibern ändrar form och färg beroende på om den laddas upp eller ned. Detta gör det teoretiskt möjligt att skapa en ny typ av sensorer i broar som från början ingår i strukturen. Sensorn fungerar som en töjningsgivare. I dag utgörs dessa sensorer oftast av optiska fibrer som limmas på ytorna.

Forskargruppen vid Chalmers tillhör

de ledande i världen på strukturella batterier. Den ena milstolpen efter den andra passeras med internationell uppmärksamhet som följd. Den senaste nyheten 2024 återgavs i 600 publikationer.

Många forskare har gått via Leif Asps forskargrupp vidare i karriären och många är nu professorer. De kommer från många olika områden.

Det krävs en väldig blandning i forskningen för att komma så här långt, säger Leif Asp. □

Foto: Chalmers tekniska högskola, Henrik Sandsjö



Vilket är framtidens batteri efter litiumjon? Det är kärnan i Rickard Arvidssons forskning om miljömässig hållbarhet. Vi gör livscykelanalyser och studerar en viss teknik. Är den hållbar i sig eller i förhållande till andra tekniker? Det finns i världen en jakt efter ökad prestanda i batterierna. Vi jagar det mest hållbara batteriet.

R

ickard Arvidsson är docent vid institutionen för teknikens ekonomi och organisation vid Chalmers tekniska högskola. De huvudsakliga studieobjekten är nanomaterial och batterimaterial.

– Jag gjorde mitt examensjobb 2008

om biobränslen och avhandlingen om nanomaterial. Idag leder jag och är med i olika projekt om batterier. Vi studerar bland annat sociala effekter av koboltutvinningen i Afrika.

Den rådande tekniken är litiumjon, men vägarna har fört oss till natriumjon som ur flera aspekter är en lovande teknik. Skiftet från fossilfordon till elfordon leder till att vi nu tittar på andra ställen i livscykeln för att se var den största påverkan finns. Vi studerar mer utvinning av material som ska sitta i batterierna.

– Vi talar om sällsynta grundämnen – oftast metaller som litium och kobolt. Dessa finns anrikade på ett fåtal platser och ämnena har generellt en låg halt i jordskorpan. Här har natrium en fördel. Ett företag i Uppsala, Altris, som vi samarbetar med vill tillverka batterier av vanliga grundämnen som natrium, kväve, järn och kol. Valet av batterimaterial är centralt för batteriernas miljö-

och resurspåverkan i ett livscykelperspektiv.

Hållbarhet kan ses på olika sätt. Återvinnaren vill ha många olika ämnen att göra affärer med. Systemforskaren tänker annorlunda. Ju färre ämnen att hantera desto bättre.

Det handlar också om olika tidsperspektiv. Kortsiktigt vill man ha trygga leveranser i nutid. Det kan långsiktigt innebära att man måste gräva djupare i jordskorpan till priset av en hög miljöpåverkan.

– Med framtida tekniker baserade på vanligt förekommande material kanske inte återvinningen blir lika central. Det är inte lika mycket kniven på strupen om materialen inte är sällsynta, säger Rickard Arvidsson.

– Försvaret måste tänka både på kort och lång sikt. Det är viktigt att ha säkra leveranser och samtidigt bör man inte bidra till ökade problem längre fram i tiden.

Dubbelt med Kina

EU antog i mars 2024 akten om kritiska råvaror. Efterfrågan på dessa kommer att öka starkt när EU strävar efter ett grönare samhälle. Europa måste klara sig mer på egen hand för att klara den övergången. Till stor del gäller det att minska beroendet av Kina.

– Det är lite dubbelt med Kina. Å ena sidan har man mycket kolkraft och utsläpp. Samtidigt är Kina det land som satsar mest på förnybar energi. Kina och Sydkorea ligger långt framme på att tillverka och återvinna stora batterier som till exempel kommer från fordon. Europa har mycket lite sådan återvinning.

Debatten om elbilar kontra fossilbilar kan ibland bli livlig. I elfordonslägret betonas miljön och då kommer motargumentet att tillverkningen inte är miljövänlig.

– Det är detta som en livscykelanalys kan svara på, säger Rickard Arvidsson. Det stämmer att det är en högre påverkan att göra en elbil jämfört med en fossilbil. En livscykelanalys tittar långt upp i kedjan. I botten ligger en matematisk modell med olika teknikparametrar, resurser

som går in och utsläpp som går ut för produkten, tillverkning, användning och livslängd. När man varierar parametrar och testar så är påverkan från en elbil mycket mindre än en fossilbil.

Debatt och politik är en sak. Livscykelanalyser som jämför fossilbilar och elbilar per person-kilometer visar konsekvent att elbilar har lägre miljöpåverkan, i synnerhet klimatpåverkan.

– Ska man uppnå klimatmål är det inget snack, säger Rickard Arvidsson. Då ligger elbilar bättre till, särskilt om de drivs av el med låga koldioxidutsläpp som i Sverige.

Fossila motorer verkar vara en teknik på nedgång.

– Men det är inte givet hur en teknik slutar. Det kan finnas kvar fickor som gamla amerikanska raggbilar. Eller så vill man inte vara sist kvar när den sista macken stänger. Det gäller att ha öga för vad som kommer så att man inte står där med kavalleriet när pansaret anfaller.

Inläsningseffekter bromsar

Rikard Arvidsson säger att det finns så kallade inläsningseffekter som bromsar ny teknik. Det mest klassiska exemplet är att alla investeringar som gjorts i fossila bränslen gör att vissa samhällsaktörer är ovilliga att gå över till förnybara energislag.

– Men ibland kan det bli en ketchupeffekt som med sol och vind. Enligt en prognos kommer sol om 25 år vara världens billigaste energikälla. Skandinavien är ett undantag, här toppar vindkraften. Vi ser en exponentiell tillväxt av sol, vind och elfordon. Det tyder på att det kommer att finnas i framtiden. För den ekologiska hållbarheten är det en god sak. Så det är en god nyhet till skillnad från många nyheter om läget för klimatet och biodiversiteten. □

Foto: Chalmers, Oscar Mattsson

**LIVSCYKELANALYSEN VISAR
– ELBIL ÄR BÄST FÖR KLIMATET**

TILLVERKNINGSPROCESS – LITIUMJONBATTERIER

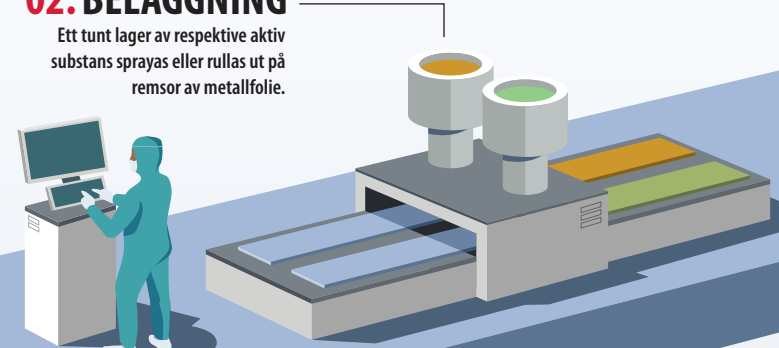
01. MIXING

De aktiva materialen för var och en av komponenterna i batterikonstruktionen blandas till homogena flytande substanser.



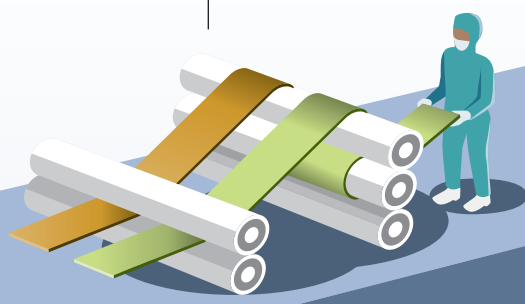
02. BELÄGGNING

Ett tunt lager av respektive aktiv substans sprayas eller rullas ut på remsor av metallfolie.



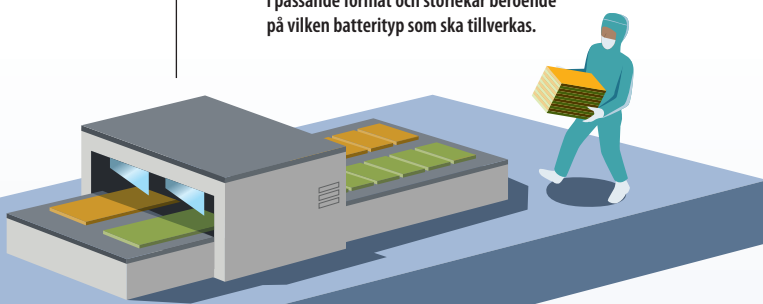
03. PRESSNING

Beläggningen på metallfolien pressas för förbättrad konduktivitet och energitätet.



04. STRIMLING & HACKNING

De belagda och pressade folierna skärs i passande format och storlekar beroende på vilken batterityp som ska tillverkas.



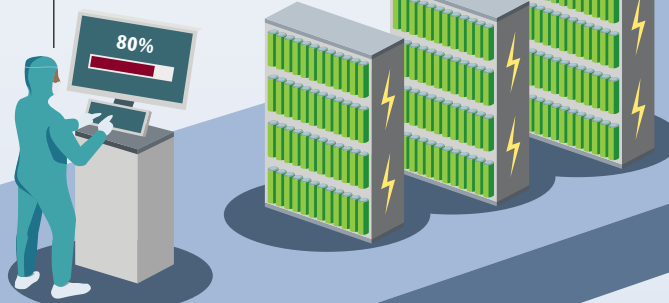
07. KONTROLL

Noggrann kvalitetskontroll avslöjar eventuella defekter innan cellerna går vidare i tillverkningsprocessen.



06. LADDNING

För att säkerställa rätt kapacitet och prestanda så laddas cellerna under kontrollerade former.



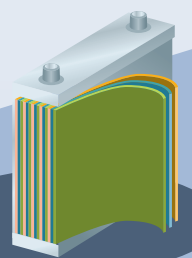
POUCHCELL

De aktiva materialen och elektrolyten paketeras i en flexibel plastbelagd metallfolie. Det ger större frihet vad gäller storlek och form på batteriet, dessutom mycket lägre vikt.



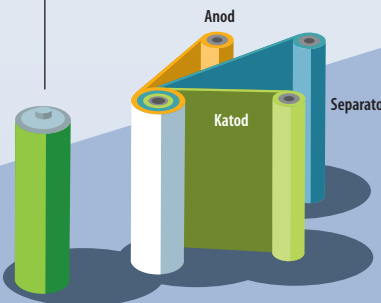
PRISMATISK CELL

Ger mer flexibilitet i design av batteripaket då de fyrkantiga cellbehållarna är lättare att stapla och paketera. Det kan i sin tur öka energidensiteten i exempelvis ett fordon.



CYLINDRISK CELL

Den cylindriska metallkapseln ger bra mekaniskt skydd, bra värmeavledning och låg risk för läckage. Hög energitätet och lång livslängd.



05. CELLTILLVERKNING

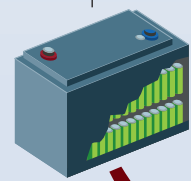
Anod, katod och separator monteras. Olika metoder används beroende på celltyp.



LADDNING & KONTROLL

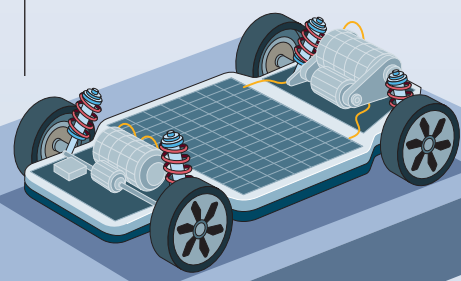
08. PAKETERING

Här monteras de enskilda cellerna ihop till färdiga batteripack. Beroende på celltyp och användningsområde paketeras cellerna i lämpliga behållare. Säkerhetssystem som BMS-Battery Management System installeras för att skydda batteriet.



09. INTEGRERING

Batterierna är nu färdiga att monteras i elfordon, energilagringssystem, datorer och andra konsumentprodukter.



TILLVERKNING AV BATTERICELLER

Tillverkningen av litiumjon-batterier är en komplex process. Speciella tillverkningslinor i renrumsmiljö ser till att aktiva material och elektrolyter hanteras på ett säkert sätt samt att temperatur och fuktighet hålls på korrekt nivå. Kontroll och säkerhetssystem förhindrar risker som brand och kortslutningar.

PAKETERING OCH INTEGRERING

Källor: Chalmers, FMV

I SLUTÄNDAN ÄR DET INGENJÖRERNA SOM KNYTER IHOP SÄCKEN

Europa har förlorat slaget om solcellerna. Nu gäller kampen om batteritillverkningen. Batterier är nödvändiga för den gröna omställningen. Det gäller fordon som energilagring. Därför är forskningen så viktig, säger Aleksander Matic, professor och chef för avdelningen materialfysik vid fysiska institutionen vid Chalmers tekniska högskola.

Vi är cirka 30 personer som forskar på nästa generations batteriteknik. Vi forskar från atom till

battericell och tänker på en fungerande cell. För att driva teknikerna framåt måste vi utgå från forskningsproblem som vi försöker att lösa. Man måste förstå sluttillämpningen och hela batterikonceptet.

Aleksander Matic betonar att material och komponenter måste studeras under så realistiska förhållanden som möjligt.

– Vill du ha en snabbare bil börjar du inte att forska om om lacken och du måste köra bilen fort för att kunna mäta på den. Vi använder avancerade röntgenmetoder för att kunna avbilda ett batteri när vi kör. Vad händer med elektroderna? Vad är det för processer som vi ser i realtid?

Aleksander Matics viktigaste forskningsområden är natriumjonbatterier, fasta elektrolyter, så kallad solid state och hur metaller kan ersätta grafit för elektroder.

Problemlösare

Aleksander Matic säger att fordonsindustrin har kommit långt på flera av dessa områden och utlovar i vissa fall färdiga lösningar inom en snar framtid. Fortfarande återstår problem att lösa och Aleksander Matic tror att i slutändan är det ingenjörerna som knyter ihop

säcken. En sak är att få allt att fungera i ett laboratorium och en annan att konstruera ett fungerande batteri.

– Elektrokemisk energi som lagras i batterier är nödvändigt för fordon och för att balansera elnäten. Vi kan inte lämna över produktionen till Kina. Europa har förlorat slaget om solcellerna till Asien. Nu handlar det om batterier. Att ge upp den kampen är att ta en stor strategisk risk. Det är superviktigt att vi kan konkurrera om produktion och den måste vara baserad på vår egen forskning, säger Aleksander Matic.

I denna forskning spelar stora anläggningar en stor roll.

– Är det något fel på dig går du till doktorn som tar en röntgenbild. Har du problem med hjärtat låter doktorn hjärtat vara på plats och slå som vanligt och tar bilder. Det är ungefär som vi gör. Vi har vårt batteri och en idé som vi tror på. Vi tittar in i batteriet och röntgentomografi ger oss tredimensionella bilder.

Samarbete kring forskningen

Vägen från idé till resultat går över någon av cyklotronerna i Grenoble, Zürich eller Lund som har Max IV. Allt sker i ett öppet internationellt forskningssamarbete.

– Vi presenterar vår idé. Så växer det fram ett förslag till ett experiment som presenteras för en kommitté. Experimentet varar normalt i två till fyra dagar och då har vi data som håller oss sysselsatta i månader, säger Aleksander Matic. Vi gör modellering och simulering och kompletterar med

egna experiment. Max IV i Lund är som en schweizisk armékniv med 16 olika instrument. Med hjälp av röntgenstrålning kan vi studera atomers strukturer, nanomaterial och jons valenstillstånd. Vi tar 3D-bilder med en upplösning på 15 nanometer.

En anläggning som Max IV är viktig för forskningen, men Aleksander Matic betonar att det behövs mer än så.

– Vi måste ha tillgång till superdator och det finns ett nationellt datacenter i Sverige. Vi måste ha en lokal infrastruktur som våra laboratorier. Det måste finnas ett ekosystem av forskare i Sverige. En del forskning överlappar och en del kompletterar. Man måste spänna upp hela värdekedjan från material, komponenter och celler till att förstå hur det fungerar, hur batterierna ska cyklas på rätt sätt för att slutligen återvinnas. □

»Vi kan inte lämna över produktionen till Kina. Europa har förlorat slaget om solcellerna till Asien. Nu handlar det om batterier.«

I GRÄNSLANDET MELLAN BATTERIER OCH BRÄNSLECELLER

Utbildningsfabriken, KTH, Kungliga tekniska högskolan i Stockholm ömsar skinn när fordonsindustrin ställer om från diesel till elektricitet. Batteriforskning finns på bredden på KTH. Många kunskapsluckor ska täppas till. En som gör det är professor Rakel Wreland Lindström.

Jag arbetar mycket med undervisning i kurser om batterier och batteriers olika användningsområden. Dessutom är jag ansvarig för en kurs om vätgas och dess teknikområden och handleder omkring tio doktorander från i stort sett hela världen i dessa ämnen. Det är kul att jobba med unga människor säger, Rakel Wreland Lindström.

Sedan 1827 har KTH levererat ingenjörer till näringslivet. KTH var och är en del av Ingenjörssverige och är en utbildningsfabrik. Här arbetar över 5 000 och det finns drygt 300 professorer och tusentals studenter från nästan hela världen. Många utbildas för att hamna på olika positioner inom transportsektorn. Ett exempel på kontakten mellan fordonsjättarna och KTH är att Scania är en strategisk partner. I framtiden ska de

tunga fordonen från Volvo och Scania drivas med el.

Hitta något att förbränna

Batterikunskapen finns spridd över KTH bland grupper där batterier kommer in på olika sätt. När IT var var nytt var det något kopplat till datavetenskap. Nu finns IT överallt och jag tror att vi får se en liknande utveckling för batterier och bränsleceller, säger Rakel Wreland Lindström.

– Vi är idag kanske tio till femton seniora personer som arbetar med batterier och handleder doktorander och postdoc, alltså de som forskar efter sin doktorsexamen, och vi jobbar på att bli fler inom angränsande områden så som storskalig tillverkning av batterier. Vi är en teknisk högskola så produktion och tillämpningar är väldigt viktiga.

Vad händer när dieselmotorn fasas ut?
– Även för småföretag blir det en stor

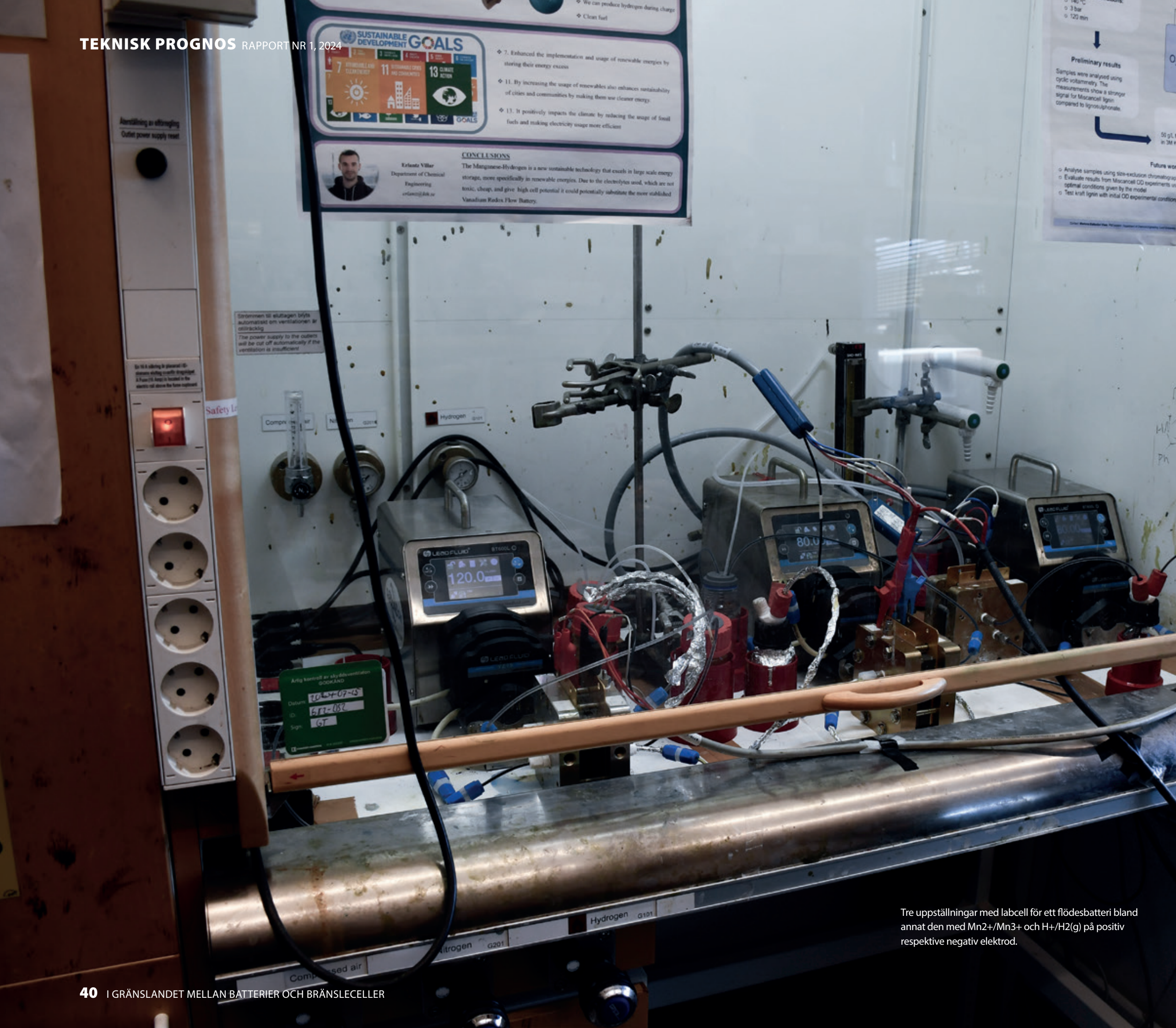
omställning. Många levererar delar till fordonsindustrin. Ingenjörskonsten går från mekanik till elektricitet. När tekniken ändras märks det på en teknisk högskola, säger Rakel Wreland Lindström. Förbränningsexperterna som levt på att utveckla motorer söker nu med ljus och lykta efter något annat att bränna. Detta något kan vara vätgas.

Hajpar kommer och går

Oavsett om man talar om bränsleceller eller batterier så är de kopplade till en elmotor, säger Rakel Wreland Lindström.

– Det handlar i grunden om elektrokemiska celler. Batteriet är ett slutet system och bränslecellen ett öppet. Man tillför väte och ut kommer vatten. Vi forskare gör ingen större skillnad på batterier och bränsleceller, det är mer användarna som betonar skillnaden. Både bränsleceller och batterier har haft skiftande konjunkturen. ▷





Tre uppställningar med labcell för ett flödesbatteri bland annat den med Mn^{2+}/Mn^{3+} och $H^+/H_2(g)$ på positiv respektive negativ elektrod.

– Runt 2000 var det en rejäl hajp för bränsleceller och sedan kom, åtminstone i Sverige, en avmattning några år senare. Nu verkar vätgasen vara på väg upp igen och vi ser en förskjutning av ett ökat intresse för hur vätgas tillverkas. För cirka 15 år sedan gick batterierna om bränslecellerna och vi får väl se om intresset för batterier mattas.

Kritiker av bränsleceller påstår ibland att tekniken varit lovande – i hundra år. Rakel Wreland Lindström menar att det är ungefär som hönan och ägget. Utan laddare, inga elbilar och utan elbilar inga laddare och detsamma gäller för bränsleceller, tankstationer och tillgången på grön vätgas har varit ett hinder.

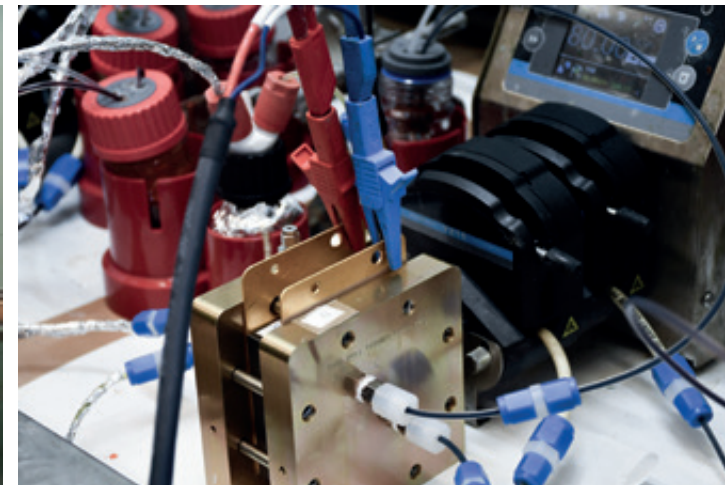
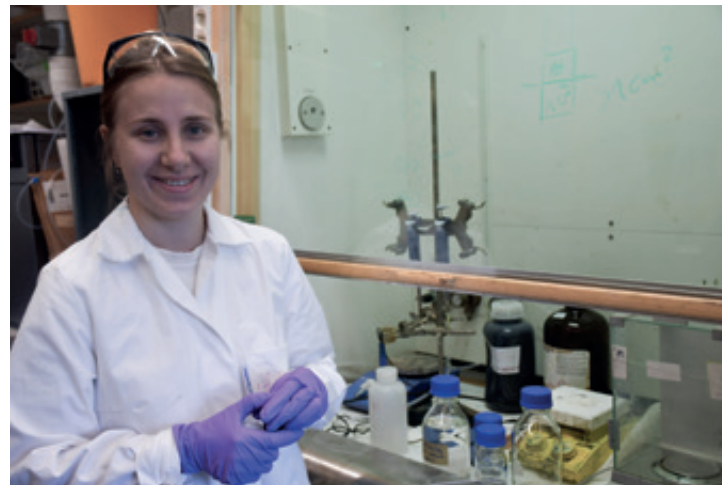
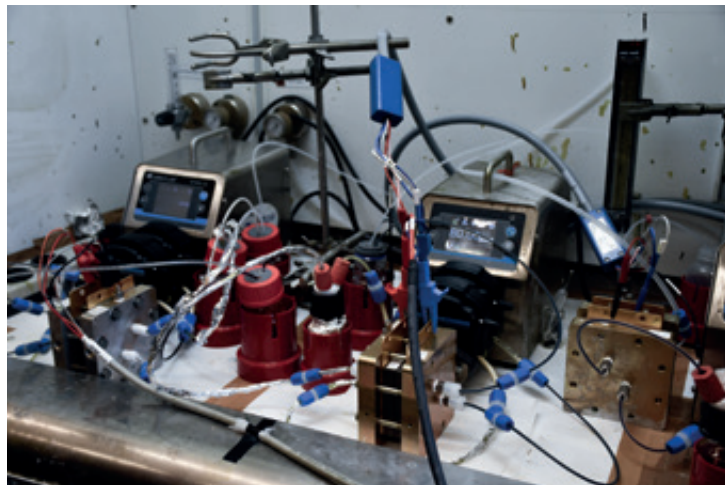
– Mercedes, Toyota och Honda gör personbilar som drivs med bränsleceller. Men idag är man ganska överens om att vätgas är mer lämpade för tyngre fordon. När man inte behöver så mycket energi har batterier en fördel. Det handlar om körsträcka och fordonsvikt. Vill man öka kapaciteten (energin) i ett elfordon så kommer man till slut till en punkt då batteriet till slut väger mer än lasten. Räknat i vikt är vätgasen energirikare än batteriet och diskussionen gäller om var skärningspunkten ligger – när är den ena eller andra tekniken bäst, säger Rakel Wreland Lindström. Det finns en hel del ja eller nej i debatten. Man är absolut för eller mot något av alternativen.

– Det kan även finnas en politisk laddning i valet mellan batterier och bränsleceller.

Alternativa batterityper

Utöver forskning på litiumjonbatterier forskar gruppen på avdelningen för tillämpad elektrokemi på KTH också på natriumjonbatterier och flödesbatterier. Bristen på litium och andra metaller gör att ett elektrifierat samhälle också kommer att behöva andra typer av batterier som bygger på billigare, miljövänligare och mer tillgängliga material där det är möjligt säger Rakel Wreland Lindström.

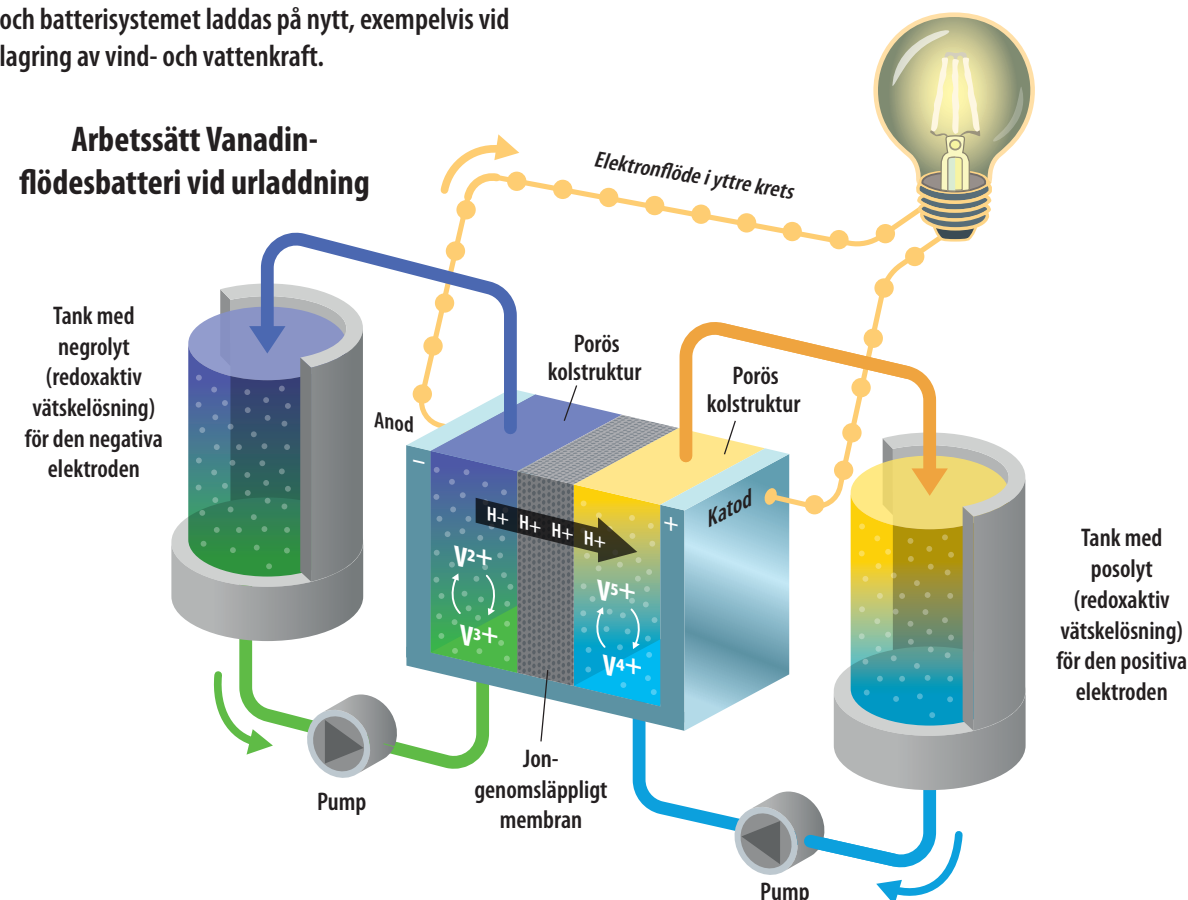
– Flödesbatterier är ett sådant exempel som kan användas i stationär lagring. De liknar bränsleceller med skillnaden att jonlösningar i stället för gas pumpas förbi och oxideras eller reduceras på elektroderna. Lösningarna lagras i tankar och kan både laddas upp och



I laboratoriet studeras framtidens flödesbatterier. Doktoranden Adina Landström forskar på kolmaterial för natrium-jonbatterier. Flödesbatterier har lång livslängd och lämpar sig bra för stationär energilagring, säger professor Rakel Wreland Lindström.

FLÖDESBATTERI

Flödesbatteriet, även kallat redoxbatteri uppfanns vid förra sekelskiftet och är en elektrokemisk cell där energin lagras redoxaktivt* i jonlösningar som pumpas genom systemet från externa tankar. Själva cellen består av elektroder i porös kolstruktur och ett jon-genomsläppligt membran. Flödesbatterier har en lång livslängd och kan erbjuda låga kostnader över tid. Genom att vända redoxreaktionen så kan elektrolyten och batterisystemet laddas på nytt, exempelvis vid lagring av vind- och vattenkraft.



* REDOKTIV JONLÖSNING

- Den vanligaste typen av flödesbatterier är vanadinbatteriet som bygger på att vanadin har fem stabila oxidationstillstånd med lösliga joner. Därför kan en typ av metalljonlösning med ett redoxpar användas på positiva elektroden medan ett annat redoxpar kan användas på negativa elektroden. På så sätt kan en teoretisk spänningsskillnad på 1,25 volt nås mellan elektroderna.
- I ett vanligt batteri sker också redoxreaktioner vid elektroderna men här i de fasta materialen, dvs. oxidation på anodsidan och reduktion på katodsidan vid urladdning (se sidorna 16–17).

laddas ur, så systemet kan användas som ett uppladdningsbart batteri. Fördelen med flödesbatterier är att effekten, som bestäms av själva cellens storlek, är separerad från energin, som bestäms av lösningens volym och koncentration och kan så dimensioneras efter sin användning. Detta möjliggör också att cellen kan underhållas och komponenter kan bytas om det behövs, till skillnad från ett traditionellt batteri som måste kasseras om någon komponent fallerar. Därför har flödesbatterier en mycket lång livstid, om lösningarna är stabila, vilket är önskvärt i stationär energilagring. Batterier som har vanadinjonlösningar är vanligast men vi forskar också på alternativa elektrolyter, som bygger på organiska joner eller manganjoner. Membranet som skiljer lösningarna från varandra är också en viktig komponent som vi studerar, förklarar Rakel Wreland Lindström

Tio minuter med Obama

2013 var den dåvarande presidenten Barack Obama på statsbesök i Sverige. Han skulle sedan vidare till Moskva, men då hade affären med Edward Snowden försämrat relationerna mellan USA och Ryssland och Obama fick en håldag. Vita huset hade synpunkter på hur den dagen skulle fyllas och valet föll på KTH som visade vattenrening, Volvo – och bränsleceller.

– Till skillnad från sin företrädare som var för bränsleceller satsade Obama på batterier, men Vita huset menade tydligen

att det skulle se bra ut i hemlandet om Obama också visade intresse för bränsleceller. Så jag fick tio minuter med Obama som var väldigt nyfiken. Efter det blev det stort intresse och det kom massor av besök i Obamas spår och dippen vände för bränslecellerna, säger Rakel Wreland Lindström.

– Forskare tycker att allt nytt är intressant. Att hitta aktiva material med bra kapacitet att lagra litium och samtidigt ha en hög elektropotential som ger en hög cellspänning är intressant som till exempel LMNO (en kombination av material som litium, mangan, nickel och syre), men nya material måste vara kompatibla med de andra komponenterna så det kan vara knepigt praktiskt. Ett annat spår är att hitta material som bygger på tillgängliga och billiga material, som till exempel LFP litiumjärnfosfat. Det har i sig låg energitäthet, men är ett säkert material och järn är det gott om. Dessutom är det mindre brandfarligt. Mycket av forskningen inom batterier på KTH kopplar till fordonsindustrin. Det behövs också bra metoder för att följa och förstå hur batterier bäst ska användas och laddas för att hålla så länge som möjligt. Forskarna på KTH studerar hur fysiken i ett batteri kan räknas och kvantifieras.

– I vår grupp utgår vi ofta från kommersiella batterier och studerar hur de åldras. Fordonstillverkarna vill ha regler för hur batterierna ska skötas. Hur mår anoden? Hur mår katoden? Vi gör en diagnos till exempel för hur en typ av

uppladdning påverkar livslängden. Det behövs förståelse både för kemin och för batterihanteringssystem, BMS som mäter och styr batteriet. Halibatt är ett exempel på ett pågående projekt tillsammans med Uppsala, Chalmers och fordonsindustrin för att få en bild av batteriets åldrande inom kompetenscenteret Swedish Electromobility Centre.

Svensk kraftsamling

Batteriområdet kraftsamlar och de olika universitetsgrupperna bidrar med olika kompetenser och infallsvinklar. I synnerhet är det täta kontakter mellan KTH, Uppsala och Chalmers inom BASE, Batteries Sweden som är ett Vinnovafinansierat kompetenscenter som också samlar en stor del av svenskt näringsliv inom batteriområdet, allt från tillverkning, analys, användning och återvinning. Nyligen har flera universitet, i första hand Uppsala, Chalmers och Lund fått statliga medel för att stärka utbildning och forskning inom batterier genom Compel för att understödja omställningen mot ökad elektrifiering av transportsektorn.

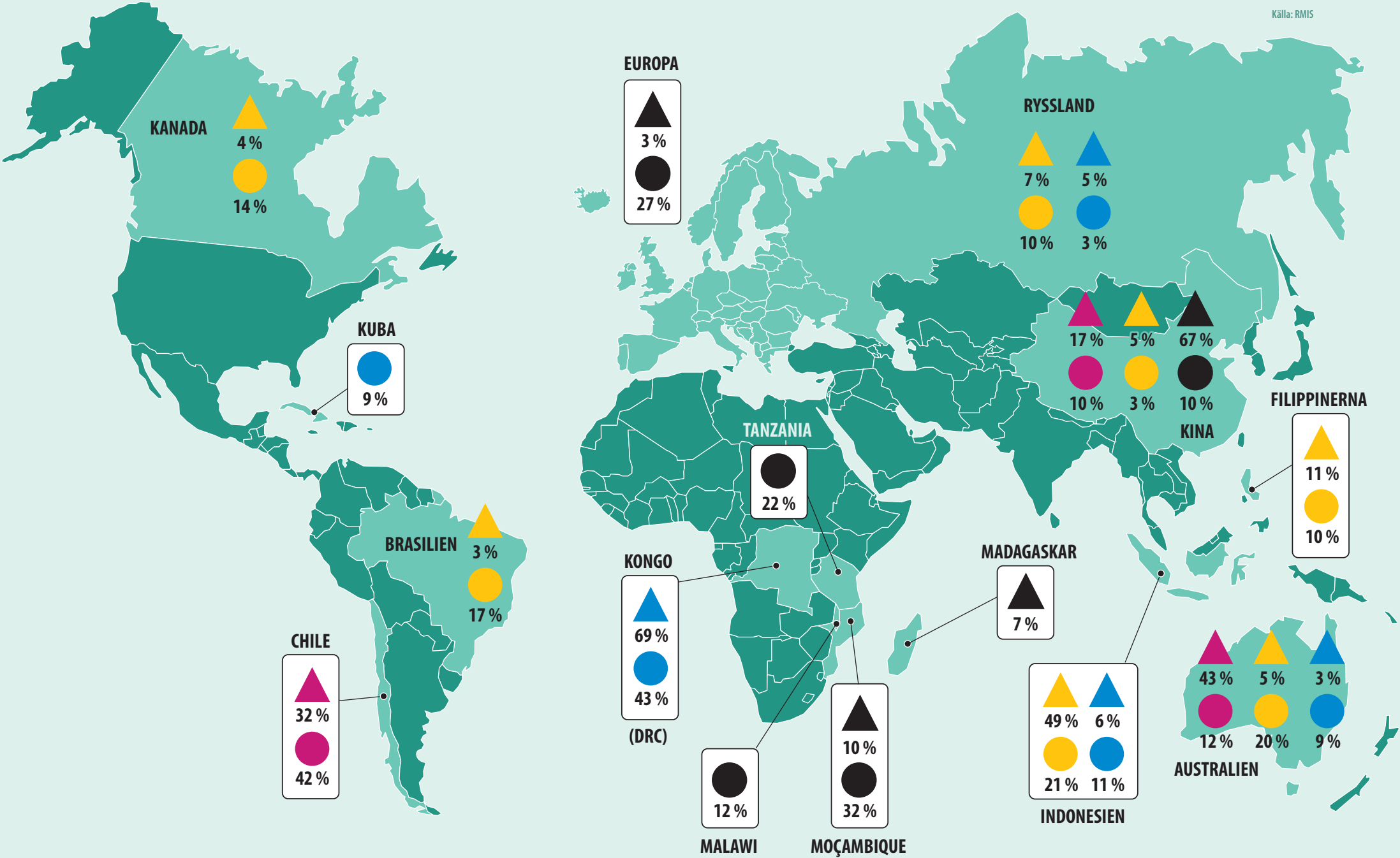
– Vi var alla lite förvånade att KTH inte var med i detta från början men nu verkar det som att KTH också kommer att vara med och få del av den här satsningen vilket är positivt, säger Rakel Wreland Lindström. □

RÅVARUFÖRSÖRJNING FÖR TILL- VERKNING AV LITIUMBATTERIER

Råvaruförsörjningen för produktion av litiumbatterier är geografiskt sett koncentrerad till ett fåtal länder i världen. Det gör försörjningskedjan sårbar för störningar. Det mest extrema exemplet är naturlig grafit som till nästan 70 procent utvinns i Kina. De tre länderna Australien och Chile och Kina står för cirka 90 procent av den samlade litiumutvinningen och konfliktzonen Kongo-Kinshasa (DRC), cirka 70 procent av utvinningen av kobolt.

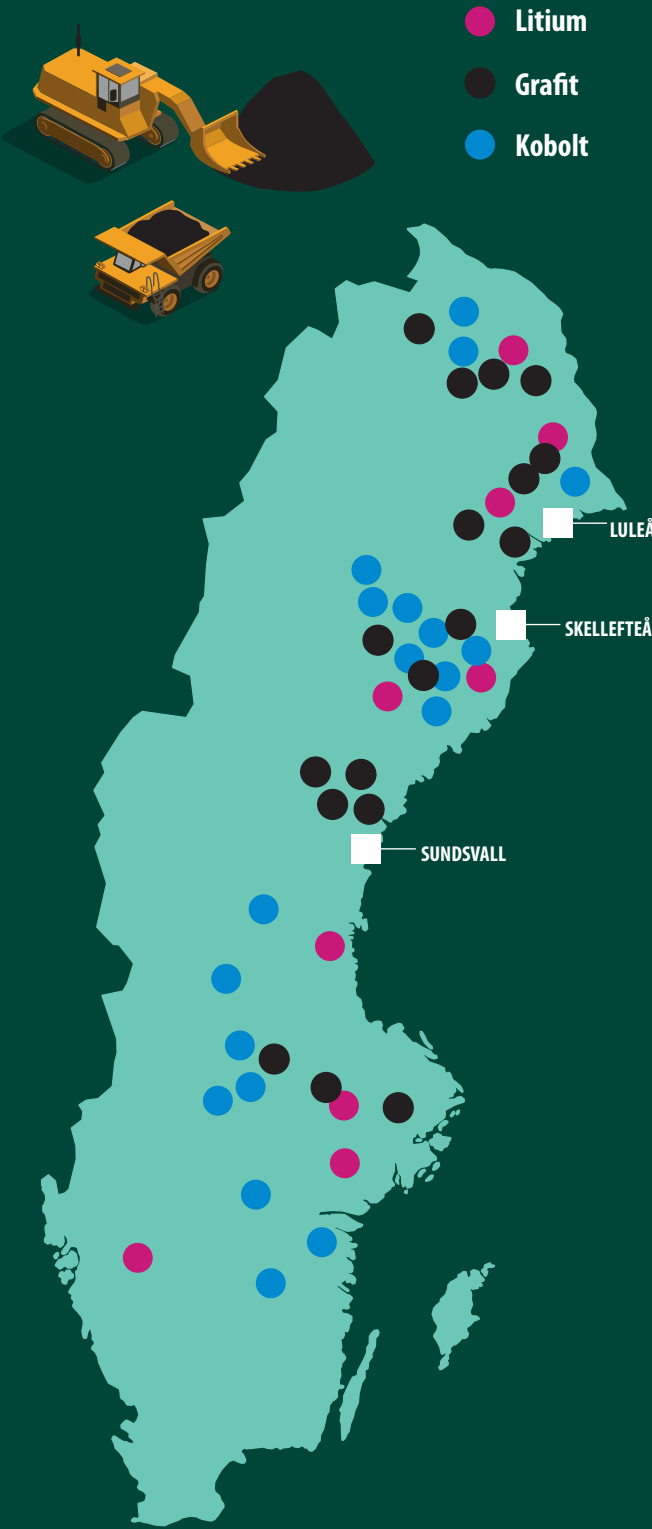
Siffrorna är från 2023

- Över 40% av världens litium utvinns i Australien
- Cirka 70% av världens kobolt utvinns i DRC
- Nära 50% av världens nickel utvinns i Indonesien



RÅVAROR I SVERIGE

Sverige har stora fyndigheter av naturlig grafit av yppersta kvalitet. Även fyndigheter av kobolt och litium har bekräftats. Det är dock oklart inom vilka tidsrymder eventuell utvinning kan påbörjas.



FÖRSVARET STÄLLER OM TILL FOSSILFRI VÄRLD

Samhället ställer om till elektricitet. Försvaret bygger på samhället och måste hänga med. Dessutom har försvaret sin egen elektrifiering. Det moderna kriget i form av sensorer, kommunikation och drönare kräver ström och batterier. För försvaret är denna övergång ny och omfattande. Och på Försvarets materielverk, FMV som är länken mellan forskning, industri och försvar hålls grundkurser i batterikunskap.

Elsa Åkesson och Linus Olausson leder kurserna. Men det är inte deras huvuduppgift. De håller på att bygga upp energi- och batterikunskapen inom FMV och delvis också inom Försvarsmakten, FM.

Elsa Åkesson kom till FMV för bara två år sedan. Hon gick Valhallavägen från Kungliga tekniska högskolan, KTH till sin första anställning. Hon är civilingenjör inom teknisk kemi och säger att det är värdefullt att arbeta tillsammans med Linus.

Han kom till FMV också för två år sedan och är civilingenjör med inriktning på energi och miljö och har även en masterexamen i kraftproduktion i bagaget.

– Jag började med att testa batterier för fordonsindustrin och provade prestanda och tänjde på gränserna fram till att batterierna exploderade. Fordonsindustrin ligger i framkant och provar mycket. Efter fem år i yrkeslivet började Linus Olausson på FMV 2022.

Energi var först vind och hästar. Sedan

kom kol och olja. Nu blev energikällorna strategiskt viktiga.

Fossila världen blir för dyr

Linus Olausson säger att batterier är en strategisk produkt. Det gäller såväl civilt som militärt.

– Även om vi kan tillverka batterier i Sverige är vi ändå beroende av utländska råvaror. Det är inte så enkelt att det finns en enda som sitter på alla korten.

– Ett annat beroende är kunskap, säger Elsa Åkesson. Kina är ledande inom cellproduktion och har hållit på länge. Kunskap kan också vara en viktig resurs.

– Nu ställer fordonsindustrin om från fossil till elektrisk energi. Det är som en elefant som vänder. Försvarsmakten måste anpassa sig till den gröna utvecklingen, säger Linus Olausson. Att hänga kvar i den fossila världen blir för dyrt. Snart uppstår brist på reservdelar som måste specialtillverkas. Det här är ett särskilt problem för försvaret vars materiel kan leva i 40 år. Det är en av anledningarna till att FMV startat en intern batteriutbildning. Området är mer komplicerat

än vad man kanske tror från början. Det är mycket grundläggande kunskap som måste hämtas in.

Linus Olausson betonar dock att försvaret för lång tid framåt kommer att vara beroende av flytande bränslen.

Till dessa grunder hör vad batterier kan och inte kan göra.

– Nu tar man ofta med sig ett elverk i fält. Ibland är det bäst, säger Linus Olausson. Men tar man bort elverket så minskar signaturen. Samma gäller för fordon. Jag har svårt att tro på den helt elektriska stridsvagnen utan lutar mer åt att det blir en hybrid. Ett elektriskt hjulfordon får en helt annan rörlighet. Man kan sätta en motor på varje hjul och göra centrumsvängar. Batterier i sig är en extra vikt, men å andra sidan slipper man den vikt som den mekaniska drivlinan innebär.

Kylan ett problem

Batteriers svagheter är välkända. Batterier gillar inte kyla. Och inte för mycket värme heller för den delen. Batterier kan inte laddas upp hur som



»Nu ställer fordonsindustrin om från fossil till elektrisk energi. Det är som en elefant som vänder. Försvarsmakten måste anpassa sig till den gröna utvecklingen.«



helst. Ett kallt litiumjonbatteri måste till en början laddas väldigt försiktigt. Kalla litiumjonbatterier kan fel behandlade bli farliga.

Så kylan är ett problem. Linus Olausson säger att forskarna nu testar ett litiumjonbatteri som fungerar med till 60 minusgrader.

Samhället går över till elektricitet och batterier och försvaret följer med. Frågan är om det behövs militära batterier. Finns det militära krav som civila batterier inte klarar? Uppstår nya faror med ökad användning av batterier? Får ett eldrivet örlogsfartyg en ny krutdurk? Tål batterier beskjutning?

– Det beror på var kulan träffar, säger Linus Olausson. Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI har testat detta.

En härva av laddare

De flesta människor har väl en låda hemma med oidentifierade batteriladdare. Förr eller senare kommer en laddare kanske till användning.

För en försvarsmakt är problemet med laddare och laddning stort. Alla batterier måste laddas då och då. En del oftare än andra. I en stor mängd av försvarets materiel sitter batterier.

– Ett problem med materiel som köps in är att de innehåller civila batterier som inte har enhetliga laddningstider. Man kan bli sittandes med tusentals batterier som ofta ska underhålla. Det kanske behövs en särskild laddare till just det batteriet. Till slut blir det en djungel av olika laddare i försvaret.

– Det finns ett schema för hur alla batterier ska laddas. Men det kräver folk som inte finns.

Och om batteriet inte laddas som det ska kan det bli svårt att ladda om eller i värre fall förstöras eller i värsta fall bli farligt. Ett batteri ska kasseras innan det blir farligt. □

BATTERIER PÅ SLAGFÄLTET

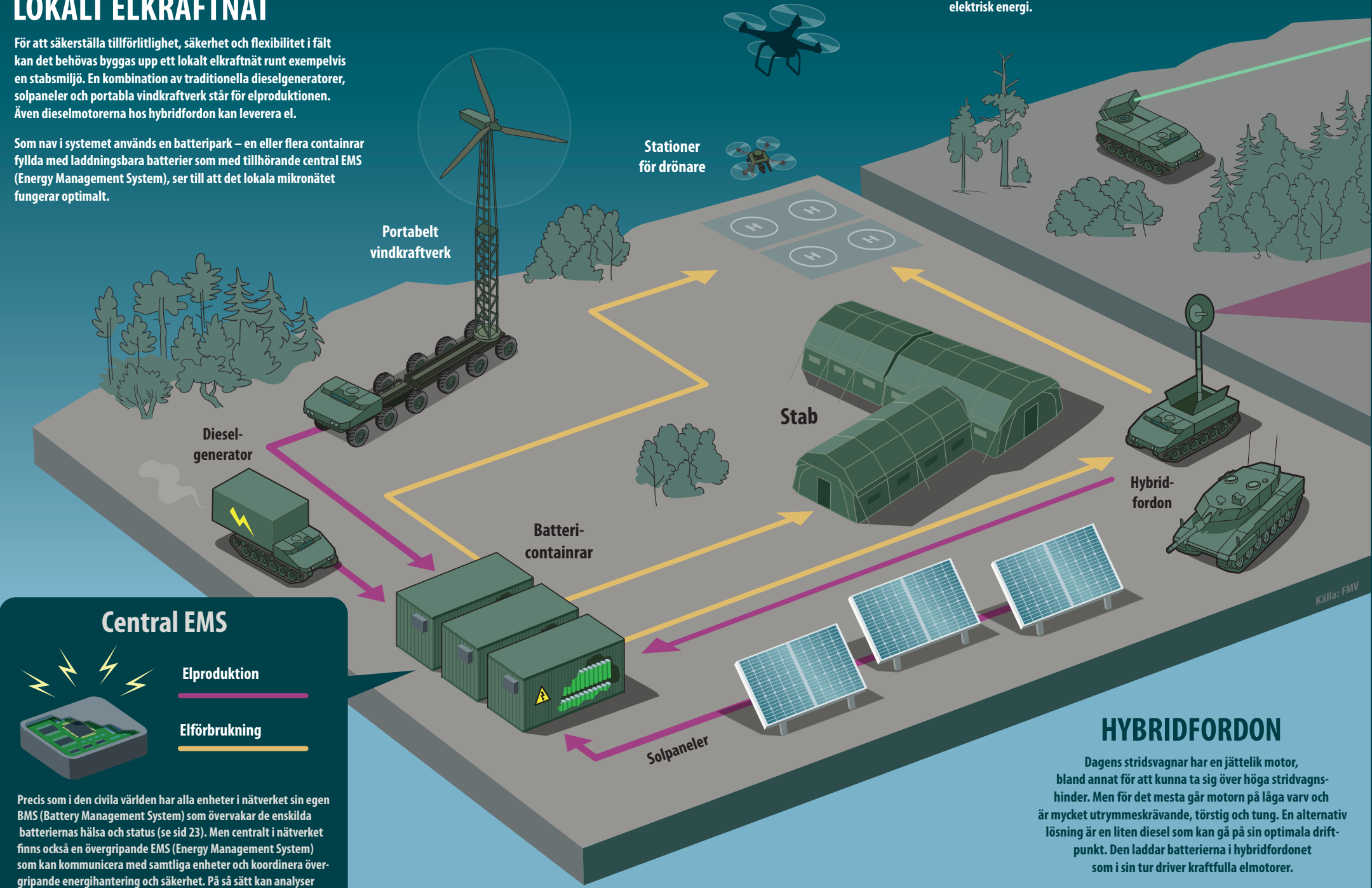
På det framtida slagfältet förväntas batterier i alla storlekar spela en allt större roll för såväl den enskilde soldaten som för nya typer av elektrifierade fordon, sensorer och vapensystem. Det blir en svår logistisk uppgift att förse alla dessa elanvändande enheter med tillräcklig energi under fältmässiga förhållanden.

LOKALT ELKRAFTNÄT

För att säkerställa tillförlitlighet, säkerhet och flexibilitet i fält kan det behövas byggas upp ett lokalt elkraftnät runt exempelvis en stabsmiljö. En kombination av traditionella dieselgeneratorer, solpaneler och portabla vindkraftverk står för elproduktionen. Även dieselmotorerna hos hybridfordon kan leverera el. Som nav i systemet används en batteripark – en eller flera containrar fyllda med laddningsbara batterier som med tillhörande central EMS (Energy Management System), ser till att det lokala mikronätet fungerar optimalt.

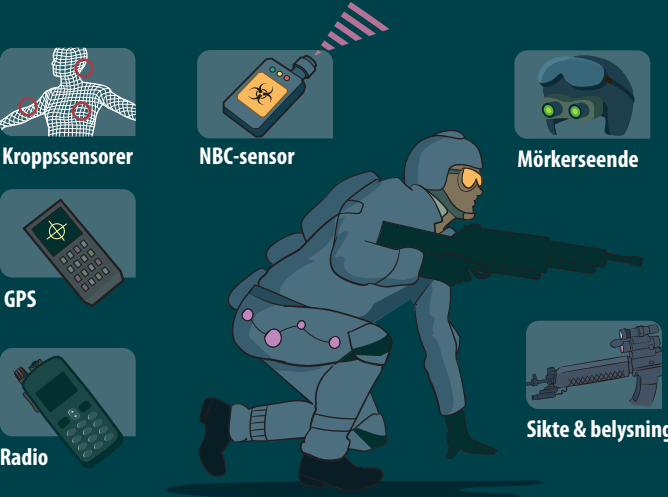
NYA VAPENSYSTEM

Nya typer av drönare, laservapen och framtida teknologier som elektromagnetiska rälskanoner kräver stora mängder elektrisk energi.



SOLDATENS BATTERIER

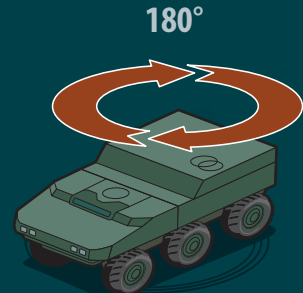
Dagens soldater bär många kilo batterier utöver all övrig utrustning som krävs för att fungera i strid. Utveckling pekar mot allt lättare och kraftfullare batterikemier, men samtidigt ökas mängden energislukande utrustning.



TAKTISKA FÖRDELAR – HYBRIDFORDON

Manöverförmåga

Bandgående fordon, som en stridsvagn, kan vända på en femöring genom att det ena bandet driver framåt och det andra bakåt. Hjulförsedda fordon måste manövrera för att vända 180 grader. Men med en elmotor på varje hjul kan även ett hjulförsett hybridfordon svänga runt på stället när det är trångt.



Låg termisk och akustisk signatur



Låg termisk och akustisk signatur är viktig på slagfältet för att förhindra upptäckt. Ett hybriddrivet stridsfordon skulle nästan ljudlöst kunna rulla fram ur skyddande vegetation och med batterierna enkelt driva alla nödvändiga sensorer utan att dieselmotorn behöver användas.

Martin Skarstind har arbetat med farliga saker i över 20 år vid Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI. Det började med explosivämnen och det var en naturlig övergång att börja med batterier. I början var det svårt att väcka ett intresse för batterier och energiförsörjning. Med kriget i Ukraina kom det en vändning. FOI har visat hur batterier kan göras säkrare och samtidigt försöker man övertyga Försvarsmakten om att inte köpa civila batterier från hyllan.

Martin Skarstind berättar att det började runt 2016.

– Jag och Hanna Ellis gjorde en studie. Vi var övertygade om att litiumjonbatterierna var på väg in i försvaret. Marinen med sin nya lätta torped var intresserad. I övrigt var det svagt från försvarets sida. När Ryssland angrep energiförsörjningen i Ukraina kom vändpunkten.

FOI:s anläggning Grindsjön söder om Stockholm har sedan starten på 1940-talet varit en plats där man testat farliga saker som granater och raketer.

– När batterierna började komma i fordonsindustrin fanns ett behov av att göra farliga tester och FOI samarbetade bland annat med Scania, säger Martin Skarstind.

FOI har nu visat hur man kan göra militära batterier säkrare.

– Utgångspunkten har varit att en

cell ska kunna brinna utan att branden sprids till de andra cellerna, säger Elias Lallo.

Martin Skarstind säger att han byggde vidare på sina kunskaper om explosivämnen. De som saknar den kunskapen bygger fel. De bygger trycksäkra lådor. Det viktigaste är att man har små celler som slocknar så fort som möjligt. Det är det som är knepet.

Fördelar med eldrift

I försök på Grindsjön har ett torpedbatterisystem, som konstruerats av FOI, beskjutits med en 12,7 mm projektil. Cellen som träffas brinner, men batteriet klarar sig. Batterisystemet har släppts från tolv meters höjd utan att fatta eld. Amerikanska flottan har kravet på torpeder att de ska klara den höjden. När torpeder lastas på ett hangarfartyg kan fallet bli tolv meter.

FOI har även testat civila batterisystem. I mobilmaster och garage sitter stora batterisystem

Varje batteri kan innehålla nära tiotusen celler. Tar det eld i en cell så brinner

hela batteriet upp.

– Så här ser det ut på den civila sidan. Försvarsmakten, FM har samma typ av batterisystem som sitter i en elsparkcykel.

Batterier och eldrift är på väg in i försvaret. Det finns planer på att köra stridsfordon 90 med elektricitet.

– Det är inte otänkbart att man tar steget till eldrift för tunga stridsvagnar, säger Martin Skarstind. Fast då handlar det om en hybrid. En stridsvagnsmotor är gjord för att vagnen ska kunna klättra över en mur som är 1,5 meter hög. I övrigt går motorn nästan på tomgång. Det är uppenbara fördelar med eldrift. Den elektriska stridsvagnen kan stå stilla tyst och spana med sensorerna. Det kan inte en stridsvagn idag. Detsamma gäller för fartyg.

Försvarssektorn består av en massa små furstendömen som sinsemellan tävlar om makt och pengar.

– Det har saknats en grundplatta för energifrågan, säger Wilhelm Sahlén. Det har gjorts mycket dubbelarbete och man har inte delat med sig till andra. Nu kommer grundplattan i form av ➤

UTAN BATTERIER INGEN UBÅT

ett teknik- och forskningsområde för energiförsörjning. Det är det första nya FoT-området på 20 år.

Varje projekt har haft sina egna pengar. Wilhelm Sahlén är FOIs projektledare i det nya FoT-området och hoppas att det ska bli fler hängrännor och färre stuprör.

– Det gäller att hitta balansen mellan Försvarmakten, FM, industrin och Försvarets materielverk, FMV. Vem ska göra vad? Det har varit många olika tillämpade projekt. Med den nya grundplattan hoppas jag att det ska bli mera av metodutveckling.

Martin Skarstind berättar om försvarsforskning förr och nu.

– Vi har inte mycket forskningspengar och vi kommer från en låg nivå. Det finns en uppenbar risk att man planerar för gårdagens krig. En viktig aspekt är vad som läggs i begreppet vidmakthållande. För juristen är det att köpa samma kanon och inte en bättre. Det finns en risk för att vi köper gammal teknik.

Manipulerade celler

Martin Skarstind betonar vilken viktig roll som den statliga försvarsforskningen spelat.

– All grundforskning på Gripen gjordes vid Flygtekniska försöksanstalten, FFA. Saab har aldrig tagit fram en egen flygplansmodell. Grunden har lagts av FFA och Försvarets forskningsanstalt, FOA. FOA forskade gratis åt industrin. När jag kom hit var den ingen som

»Vi har inte mycket forskningspengar och vi kommer från en låg nivå. Det finns en uppenbar risk att man planerar för gårdagens krig.«

ifrågasatte detta. Sedan när det blev ont om pengar hävdade industrin att man gjort allt själva. I verkligheten har FOI och dess föregångare FOA varit en problemlösare åt industrin i decennier. Det har inte politikerna förstått, de har lyssnat på industrin och skurit ned på FOA. FFA finns inte längre.

Förr lade försvarsmyndigheterna ut mycket forskning på akademien och nu ska FOI inte jobba mot industrin vilket både jag och FM tycker är synd för vi har mycket att lära av industrin.

Man kan också lära sig av att följa den amerikanska forskningen, säger Martin Skarstind. Det publiceras jättemycket och så blir det knäpptyst. Då förstår man att hajpen har övergått till ett hemligt program. Han säger också att man ska förstå vad det innebär att forska för USA.

– Så länge som vår forskning kostar mindre kommer pengarna och när USA har lärt sig tillräckligt så får man inget mer.

När personsökare och mobiltelefoner exploderade i Libanon blev det en väckarklocka. Martin Skarstind var

inte bara övertygad om att Israel låg bakom, vilket sedan bekräftades av Israel, utan har också en teori om hur det tekniskt gick till.

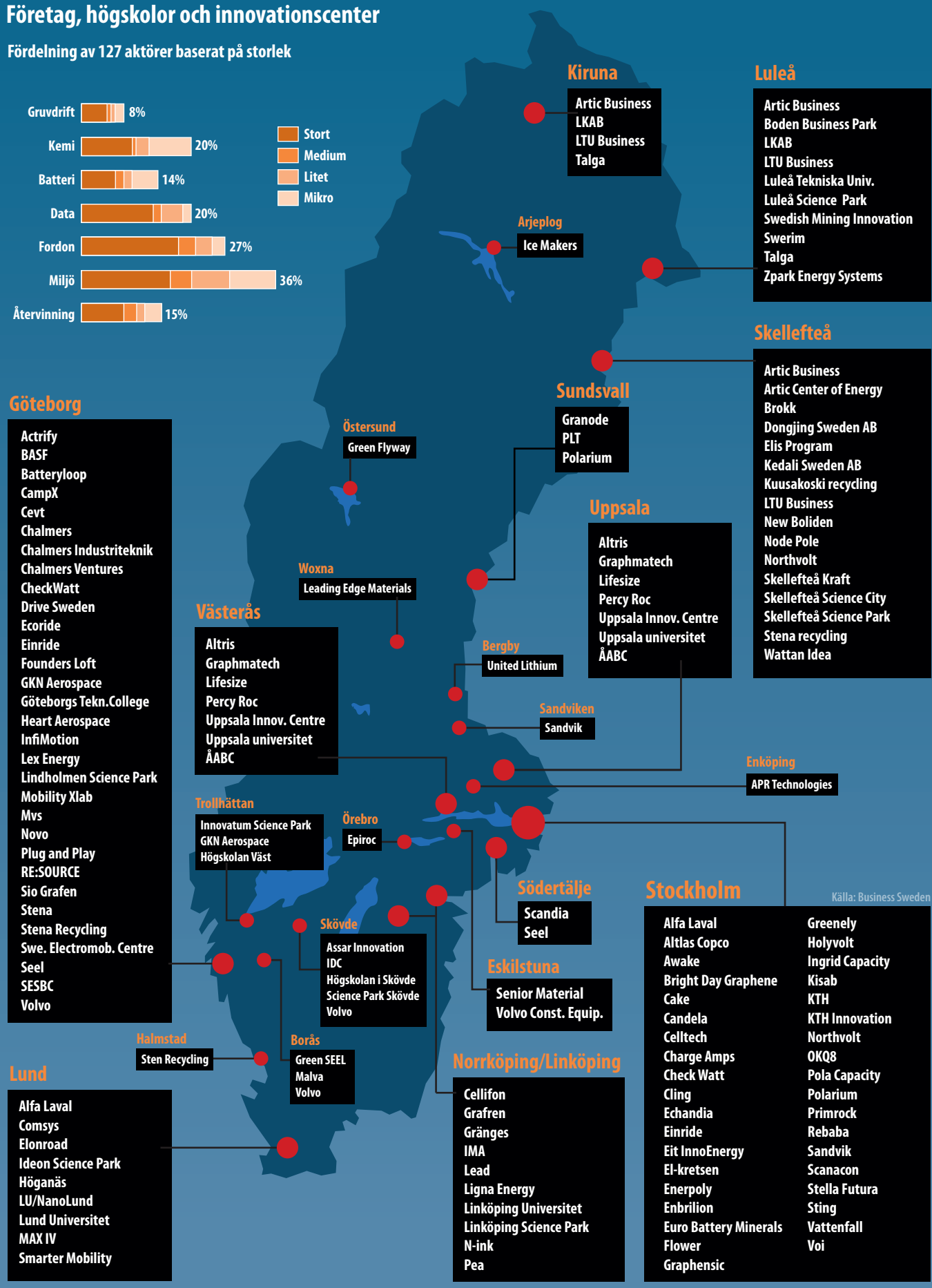
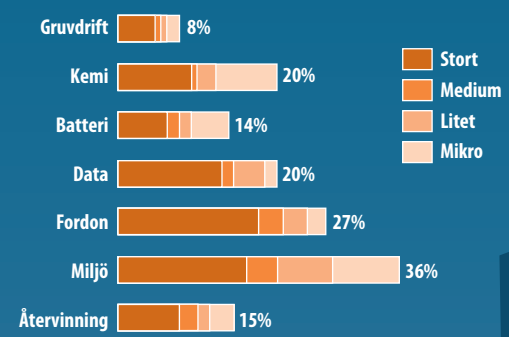
– På något sätt kapade man en länk i de tilltrasslade leverantörskedjorna. Det här öppnade ögonen för många i vår bransch. Om det räcker med att manipulera en cell vad kan man då inte åstadkomma i en ubåt som har hundratusentals celler. Nu ska de svenska ubåtarna utrustas med litiumjonbatterier. En anledning är att de har bättre prestanda. En annan är de gamla typerna av batterier snart inte tillverkas. Men historien har visat att det inte är riskfritt att för snabbt driva på den omställningen.

– Min poäng är att försvaret måste ha koll på sina batterier. Annars kan man råka ut för det som hände i Libanon. FM vill köpa civilt från hyllan, men på den hyllan finns inga militära krav. Och hur ska man kontrollera den djungel av underleverantörer som har tillverkat batterier? □

DEN SVENSKA BATTERIVÄRDEKEDJAN

Företag, högskolor och innovationscenter

Fördelning av 127 aktörer baserat på storlek



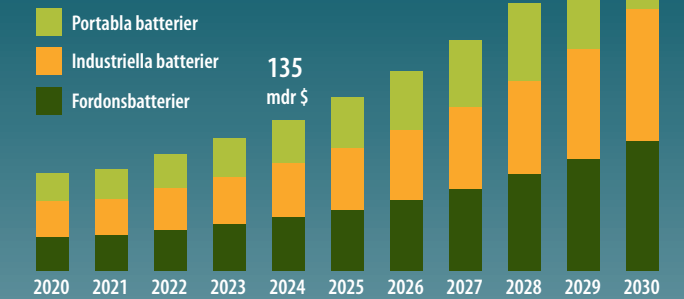
Källa: Business Sweden

BATTERIERNAS VÄRDEKEDJA

Marknaden för batterier uppskattades till närmare 135 miljarder USD år 2024 och förväntas växa med drygt 16 procent per år fram till 2030. Vad gäller batterityper så dominerar litiumjonbatterierna med en andel på över 44 procent men alternativa kemier som natriumjonbatterier och flödesbatterier förväntas ta allt större plats på marknaden inte minst när det gäller storskalig energilagring.

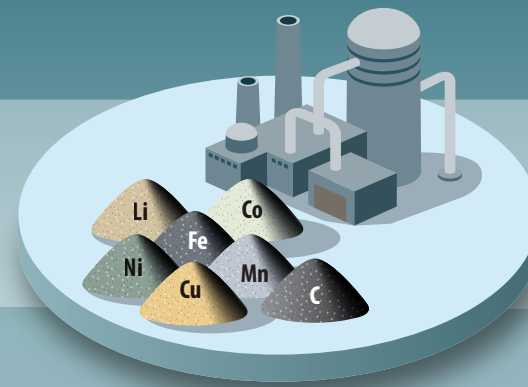
BATTERIMARKNADEN VÄXER

Storlek fördelat på användningsområde



1. RÅVAROR

Utvinning av råmalm/material som krävs för tillverkning av batterimaterial.



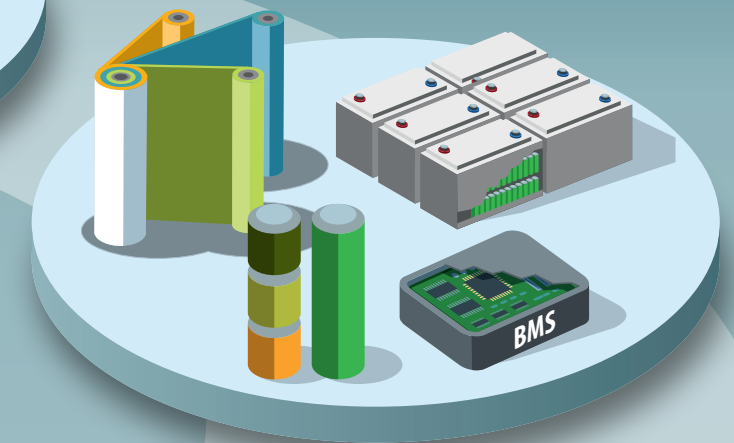
2. RÅVARARUFÖRÄDLING

Bearbetning och förädling av råmaterial till elektrodmaterial.



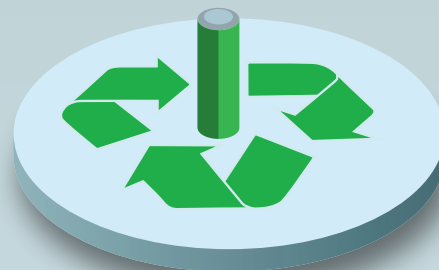
3. TILLVERKNING – CELLKOMPONENTER

Tillverkning av katod- och anodmaterial, elektrolyter, separatorer och hölje.



4. TILLVERKNING BATTERICELLER & CELLPAKET

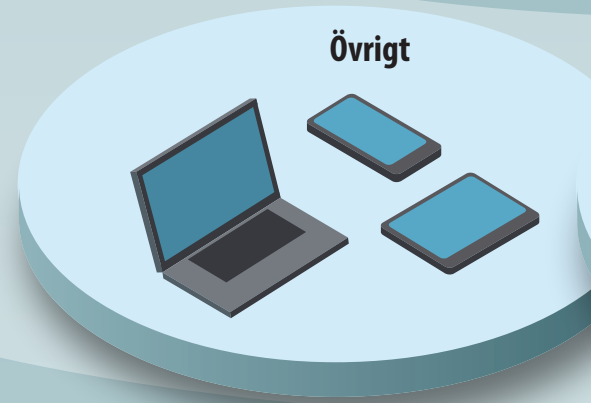
Tillverkning av battericeller och integration till batteripaket inklusive elektronik, sensorer och batterihanteringssystem.



6. ÅTERVINNING

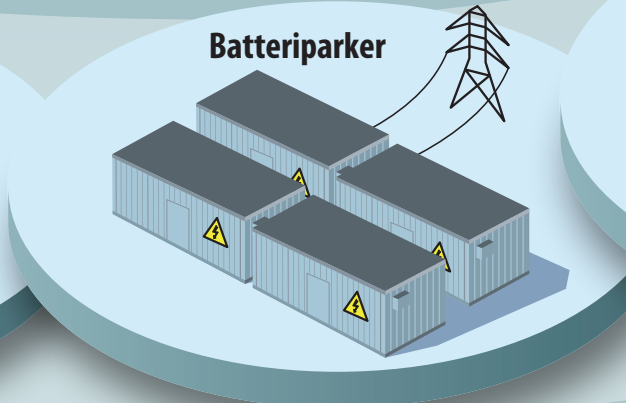
Återvinning av mineraler, katoder och anoder minskar behovet av råvaruutvinning och ger mindre miljöpåverkan. Storskalig återvinning av litiumjonbatterier ligger fortfarande i sin linda.

5. PRODUKTTILLVERKNING



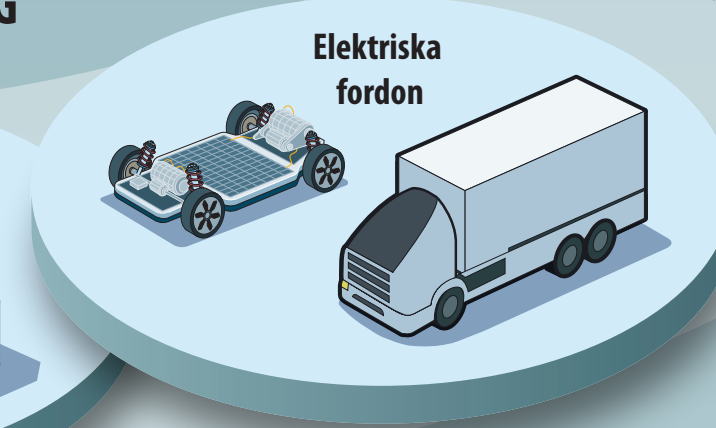
Övrigt

Mängden konsumtionsvaror som ställer krav på högpresterande batterier växer oavbrutet.



Batteriparker

Batterilagring möjliggör integration av variabla förnybara energikällor i kraftsystem med låga utsläpp, vilket säkerställer en tillförlitlig elförsörjning.



Elektriska fordon

Elfordon är avgörande för att minska koldioxidutsläppen i transportsektorn och minska beroendet av olja.

Källor: Chalmers, BMW, Grand View Report



FOTO: GUSTAV LINDH, SCANIA CV AB

FRAMTIDENS LASTBIL GRÖNARE ÄN KOR

I Scantias reception finns två klockor. En för Södertälje och en för Sao Paulo i Brasilien. Scania känns som något ursvenskt som i slutet av 1950-talet tog steget ut i världen. Och där är man kvar. Historien har varit och är dramatisk med flera ägarbyten. Den stora omställningen väntar nu den anrika lastbilsfabriken. Att säga farväl till den pålitliga dieselmotorn och satsa på eldrift.

En av de som driver denna utveckling är Matthew Lacey från Southampton. Efter studier i kemi och elektrokemi disputerade han och flyttade till Uppsala universitet 2012.

– Jag hade mest arbetat med att förstå hur batterier fungerar. När jag intresserade mig mer för nyare batterier sökte jag en bredare inriktning och ville pröva något utanför akademien. Via kontakter i Uppsala kände jag väl till Scania och nu är jag här sedan några år.

– När jag kom hit var vi bara några få som arbetade med elektrifiering. Efter ett halvår bildades en elektrisk grupp och nu är vi fyra gånger som många som för några år sedan.

I en annan artikel berättas om den stora omställning som nu sker vid Kungliga tekniska högskolan (se sid 46). Denna förändring drivs av att företagen ställer om till elbilar.

– En bra sak med Scania är att man hellre omskolar de man har än att säga upp människor och anställa nya. En hel del av våra batteriexperter lärde sig något helt annat på högskolorna. De är utbildade för fossila fordon. Men det finns ändå mycket som är gemensamt.

Den samlade batterikunskapen blir en tillgång för Scania och vi vet hur kunden använder batteriet.

Dyrare att snåla

Matthew Lacey visar sitt laboratorium. Här leder han en grupp på cirka fem personer. Man testar gamla batterier, tar en cell laddar och laddar ur.

– En sak är att göra det i labbet, verkligheten är en annan. Verkligheten är snällare mot batteriet än labbet. I bilen laddas batteriet i nedförsbacke.

Batterier är dyra, även om priset sjunker. Lönar det sig att byta batteri i en el-bil? Hur länge ska ett batteri leva?

Det är det som forskarna i labbet försöker att svara på. En personbil går kanske 30 000 mil totalt. En lastbil kan gå 200 000 mil.

– Ambitionen är att batteriet ska fungera så länge bilen lever, säger Matthew Lacey. Det hänger inte bara på materialet i batteriet utan även på formen, hur batteriet är konstruerat. Vi analyserar körmonster och överför det till tester i labb för att beräkna livslängden, men facit får man först när batteriet sitter i bilen och då får man vänta i många år på svaret. Allmänt kan sägas att batterierna har hållit längre än vad man trodde för några år sedan. ▷

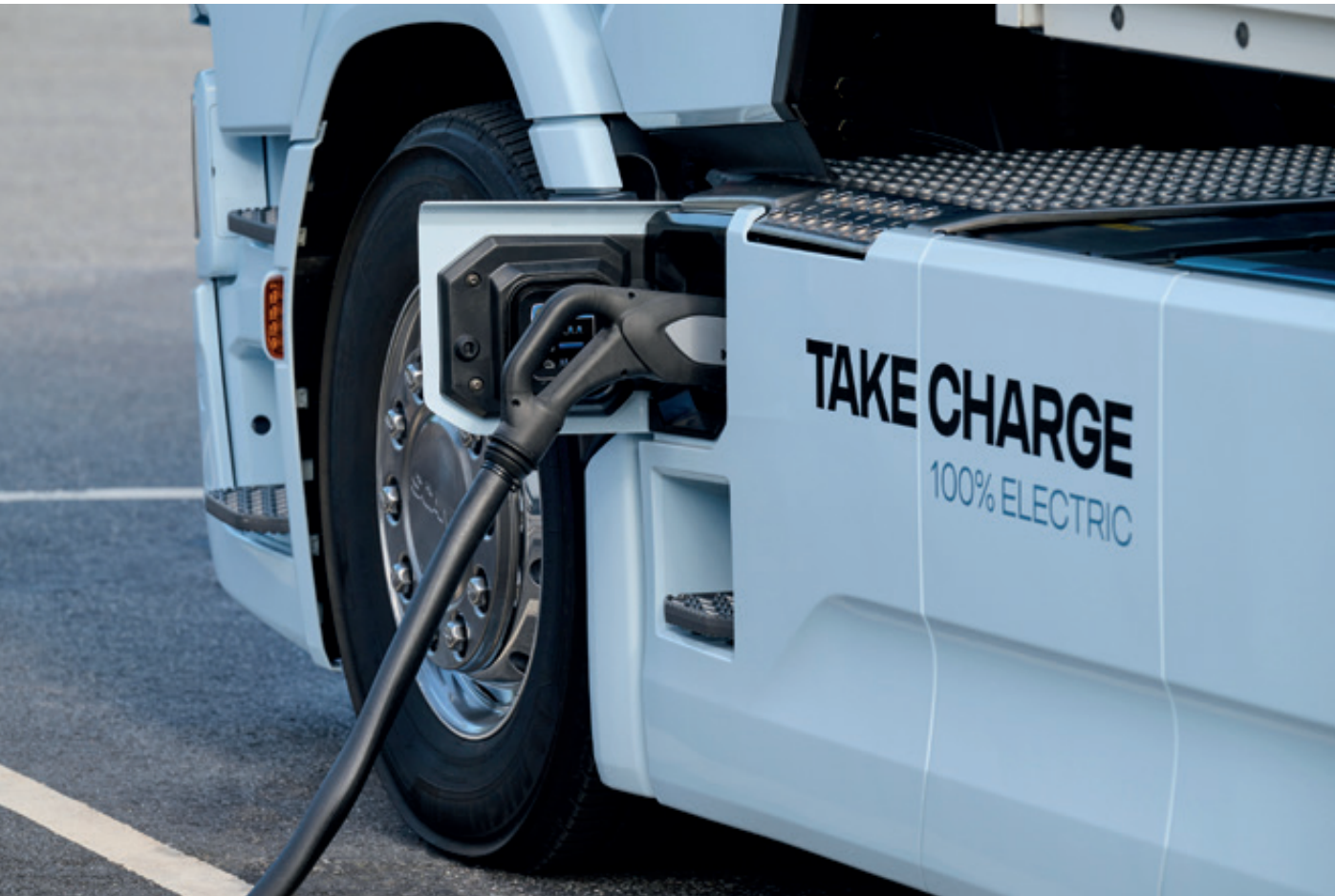


FOTO: DAN BOMAN, SCANIA CV AB



FOTO: GUSTAV LINDH, SCANIA CV AB

Det ekonomiska argumentet för att köpa en el-bil är att det lönar sig i längden. För ett åkeri består kostnaden av en tredjedel lastbilen, en tredjedel föraren och resten är bränslet under bilens livstid. Med billigare batterier och dyrare diesel stärks argumentet.

En eldriven Scania lastbil har två batterier på 0,6 ton och två på 1,2 ton. Även om elmotorn är lättare än en dieselmotor så blir det ändå en extra vikt med en el-bil.

Laddningen är fortfarande ett problem. Det finns inte tillräckligt många megawatt-stationer och de flesta laddningsstationer är gjorda för personbilar.

– Inom en nära framtid har laddningsstrukturen byggts ut med fler och effektivare stationer så att lastbilen kan laddas när föraren har rast.

Det kommer ut el-lastbilar från fabriken i Södertälje, men inte i den takt som Matthew Lacey hoppats på. Under våren 2024 beklagade ledningen för Scania att minskade leveranser från Northvolts batterifabrik i Skellefteå försenade Scantias omställning till el-lastbilar. 2023 levererade 222 el-lastbilar och enligt Scantias VD

Christian Levin hade siffran kunnat vara flera tusen om Northvolt hållit tidtabellen. Scania gjorde 2023 en nettovinst på 17 miljarder, en fördubbling jämfört med 2022. Om fem år ska 50 procent av lastbilarna vara eldrivna. Trots problemen med Northvolt har Scania inte minskat på den ambitionen.

Northvolt är ett pågående drama med flera aktörer som är beroende av varandra. Volkswagen som äger Scania äger 21 procent av Northvolt och har lämnat företags styrelse. Scania har flera gånger pumpat in pengar i Northvolt, senast en dryg miljard i samband med rekonstruktionen i USA.

Med Scania på armen

Scantias VD Christian Levin står fortsatt bakom Northvolt, men säger att man diskuterar med andra batteritillverkare utan att nämna några namn.

Tidskriften The Economist målade i november 2024 en dyster bild för Europas el-biltillverkare. Det finns i Europa två sydkoreanska batteritillverkare. LGES har i Polen Europas största batterifabrik som står för Europas halva batteriproduktion.

INGEN SPIKRAK VÄG

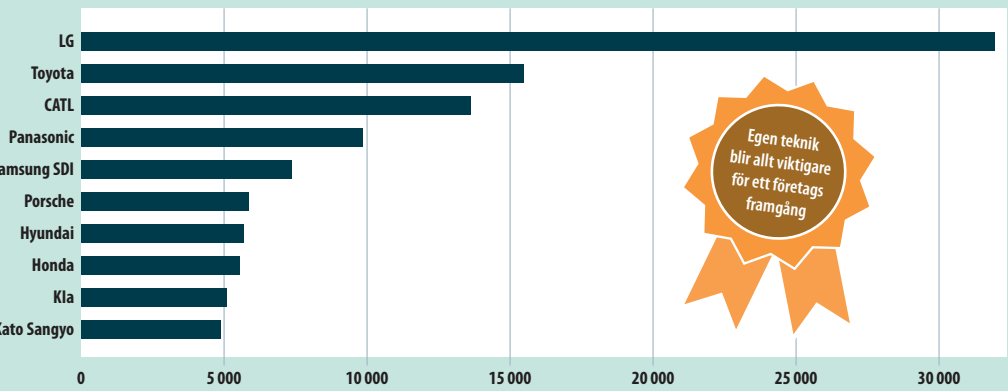
Scania verkar alltid ha funnits. Nu arbetar cirka 15 000 i Södertälje där Scania är som en stadsdel med kontor, forskning, fabriker och testbanor.

I hela världen arbetar 58 000 i över hundra länder för Scania. Det stora steget ut i världen togs på 1950-talet med fabriken i Sao Paolo som var en magnet för svenska exportföretag.

Företaget bildades 1911 av Scania i Malmö och Vabis i Södertälje. Därför vajar flaggan med den skånska gripen över Södertälje. Tio år senare gick företaget i konkurs och räddades av Wallenbergsfären och Enskilda banken. Företaget växte i och utanför Sverige och så gick Scania ihop med Saab 1969. 30 år senare ville Volvo ta över, men EU sade nej. 2006 försökte tyska MAN lägga beslag på Scania och sedan 2015 är Scania helägt av Volkswagen. Samarbetet med Volkswagen är gammalt och lönsamt. Scania hade agenturen för den första folkvagnen.

Stora batterianvändare dominerar patentpublikationer

Topp 10 företag efter antal batterirelaterade patentpublikationer – januari 2020–oktober 2023



Källa: GlobalData

SK Innovation är ett annat sydkoreanskt företag i Europa. Båda företagen ska enligt uppgift minska produktionen som ett svar på en minskad el-bilförsäljning. Det är mer lönsamt att bygga stora stationära batterier för kraftnät. Den tredje stora tillverkaren är kinesiska CATL som satsar hårt på växa globalt. CATL är världens största batteritillverkare. För Europa återstår då, skriver Economist, att

köpa från CATL i Europa eller importera från Kina.

– Kina dominerar el-biltillverkningen. Man lärde sig väldigt fort att göra bra bilar och man äter sig in i marknaden samtidigt som andra som Volkswagen förlorar marknadsandelar i Kina, säger Matthew Lacey som kör en kinesisk elbil. Inte den bästa bilen som finns, men ett bra pris. Billigare batterier ger billigare bi-

lar och bilindustrins framtid hänger i stort på batterierna där Kina leder stort.

I Sverige dominerar Scania och Volvo. Om Kina är det ledande landet för el-bilar när kommer de kinesiska el-lastbilarna?

En bra fråga, säger Matthew Lacey. Men så länge den finns svenskar som tatuerar Scania loggan på armen så finns det hopp. Mycket av Scantias styrka i Sverige är alla dessa små företag. □

FÖRKORTNINGAR OCH BEGREPP

ASSB All-solid-state batterier
BEV Battery Electric Vehicle – helt och hållet eldrivet fordon.
BMS Battery Management System
Compel Samverkan mellan Lunds universitet, Chalmers tekniska högskola och Uppsala universitet, för elektrifiering av transport-sektorn.
CRM Kritiska råmaterial
Dendriter Spetsiga formationer som formas ut från anoden när litium flyttas fram och tillbaka mellan anod och katod vid laddning och urladdning.
DRB Dynamiskt rekonfigurerbara batterier
Elektrolyt En substans som innehåller fritt rörliga joner vilka gör substansen elektriskt ledande.
EMS Energy Management System
ESS European Spallation Source – forskningsanläggning i Lund.
EV Elektriskt fordon
FCEV Fuel Cell Electric Vehicle
Flödesbatteri En elektrokemisk cell där energin lagras i redox-aktiva jonlösningar.
HEV Hybrid Electric Vehicle. Har både en elmotor och en förbränningsmotor. Kan till skillnaden från PHEV-bilar inte laddas i uttag, och de har kortare räckvidd på ren batteridrift.
HF Väteflourid
LCO Litium-koboltoxid som katodmaterial
LFP Litium-järnfosfat som katodmaterial
Li-ion Litium-jonbatteri
LiPo Litium-polymerbatteri
LMO Litium manganoxid som katodmaterial
LTO Litium Titanate, anodmaterial
MAX IV Synkrotronljusanläggning i Lund.
NiCd Nickel-kadmiumbatteri
NCA Litium-nickel-kobolt-aluminiumoxid som katodmaterial
NiMH Nickel-metallhydridbatteri
NMC Litium-nickel-mangan-koboltoxid som katodmaterial
REE sällsynta jordartsmetaller
PHEV Plugin Hybrid Electric Vehicle – Kallas för ”laddhybrid” i Sverige. Kombinerar en förbränningsmotor med en elmotor och kan laddas från nätuttag.
RFB Redox flow batteries (flödesbatteri)
SE Fasta elektrolyter
SEC Swedish Electromobility Center
SOC (State of Charge) – batteriets laddningstillstånd
SOH (State of Health) – batteriets hälsotillstånd
TCO Total Cost of Ownership
TENG Triboelektriska nanogeneratorer
VRFB Vanadinbatteri (flödesbatteri)
ÅABC Ångström advanced battery centre



Rapporten är sammanställd av FoT-projektet Omvärldsbevakning med teknisk prognos.

TEXT: Jan-Ivar Askelin

GRAFIK: Martin Ek

GRAFISK FORM: Peter Ehrlin

FOTO: Jan-Ivar Askelin om inget annat anges

OMSLAGSFOTO: Getty Images, Just_Super

TRYCK: FMLOG Försörjning Grafisk Produktion

FMV dokumentbeteckning: 24FMV2096-20

Februari 2025