

## **Om artikelförfattaren**

Artikelförfattaren **Christer Svensson** är utbildad civilingenjör i kemiteknik från Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg. Han har också arbetat och undervisat på samma ställe.

Han har varit verksam inom batteribranschen i nästan 30 år och har haft ansvar för olika uppgifter inom produktion och utveckling av batterier. Detta gäller bland annat batterier till bilar, lastbilar, marin/fritidssektorn och MC, samt utveckling och produktion av batterier för olika industriella behov.

Christer Svensson arbetar i dag som Senior Product Manager inom Exide Technologies Nordics. Han är även ansvarig för miljöfrågor inom Exide Technologies Sverige.

Vid omredigeringar eller ändringar i texten i denna artikel skall artikelförfattaren godkänna ändringarna innan publicering.

## **Ny bilteknik förändrar kraven på batterierna**

**Blybatterier har sedan länge en bred användning i det moderna samhället alltifrån att fungera som strömkällor i reservkraftssystem till drift av elektriska fordon och start av bilar. Den starka positionen betingas bl a av faktorer som att blybatterier har en bra livslängd, är tåliga i de flesta användningsmiljöer och att de är förhållandevis billiga. Dessutom är infrastrukturen runt batterierna väl utbyggd såväl för produktion av nya batterier som för omhändertagande och återvinning av uttjänta batterier.**

**I en tid då åtgärder för att minska utsläpp av växthusgaser blir alltmer nödvändiga kommer förbränningsmotorerna i framtidens fordon att behöva kombineras med alternativa system för framdrivningen och detta leder till att kraven på batterierna kommer att förändras.**

**Som leverantör till bilindustrin deltar blybatteribranschen aktivt i detta utvecklingsarbete och blybatterier har och kommer att ha en fortsatt stark position vid val av batterier i den pågående utvecklingen av morgondagens fordon.**

Det är nu lite drygt 100 år sedan som den första bilen med elstart såg dagens ljus. I den använde man sig av ett blybatteri för att starta motorn, och även om start med vev under lång tid fortfarande förblev det vanligaste sättet att starta bilar, så erbjöd introduktionen av system med elektrisk start någonting nytt och bekvämt som undan för undan introducerades och som kommit att bli ett av de stora och dominerande användningsområdena för blybatterier.

Ursprungligen användes batterierna i princip enbart för motorstart och belysning, därav namnet startbatterier. Bilarna var uteslutande försedda med mekaniska funktioner och hade sparsamt med elektriska utrustningar men i och med att elektriska apparater, alltifrån de första radioapparaterna till senare tiders aircondition, musikanläggningar, infotainment, GPS etc blivit allmänt tillgängliga och vanligt

förkommande har dessa också kommit att installeras i våra bilar tillsammans med den elektronik som alltid är inkopplad.

Detta har inneburit att batteriernas roll vid sidan av den rena startfunktionen efterhand byggts på med allt större krav på strömförsörjning till bilen när motorn är avslagen, dvs kravet på högt energiinnehåll för att kunna leverera den ström som de elektriska funktionerna kräver har, vid sidan av en bra startförmåga, blivit allt viktigare i moderna batterier.

Bilindustrin står idag inför utmaningen att möta allt strängare miljökrav som bl.a. innebär minskad bränsleförbrukning och lägre utsläppsnivåer avseende koldioxid. För att uppnå dessa målsättningar pågår en intensiv utveckling inom fordonsindustrin för framtagning av fordon med olika grader av hybridisering.

Avgörande i det arbetet är införandet av nya system, där den traditionella förbränningsmotorn kompletteras med eller rent av byts ut mot elektrisk drift avgörande.

Exempel på en funktion som förbättrar bränsleekonomin är start & stop systemet, ofta benämnt mikrohybrid. Detta är ett system som stänger av förbränningsmotorn och låter batteriet ta över strömförsörjningen när fordonet står stilla – t ex vid köer eller rödljus. Motorn återstartas sedan momentant när man trycker på gaspedalen. Skillnaden i batteriets roll i bilen blir påtaglig med ett sådant system eftersom varje stopp kommer att medföra att ström tas från batteriet till strömförsörjning och återstart, dvs batteriet utsätts vid varje sådant tillfälle för en liten urladdning. Mikrohybriden har ingen separat elmotor utan enbart en förbränningsmotor som stängs av och startas i samband med varje stopp. I strikt bemärkelse är mikrohybriden därför egentligen inget hybridfordon eftersom det begreppet normalt brukar reserveras för fordon som har minst två drivkällor, elmotor och förbränningsmotor.

## **Hybrider**

De renodlade hybridfordonen finns i olika utföranden och sofistikeringsgrad, och brukar delas in i grupper bl a efter hur stor roll eldriften har för framdrivningen av bilen.

Man skiljer mellan *milda hybrider* där man kan säga att startmotorn förstärkts för att svara för framdrivningen i låga hastigheter.

*Fullhybrider* där elmotorer och förbränningsmotorer arbetar integrerat och där elmotorerna ger ett betydande tillskott till framdrivningen även vid högre hastigheter.

*Laddhybrider*, eller som de också kallas *plug-in hybrider*, har liksom alla hybridfordon ett kombinerat system med el- och förbränningsmotorer men eftersom batterierna kan laddas direkt från elnätet och batterikapaciteterna dessutom är stora kan den typen av fordon även fungera som renodlade elbilar.

Normalt utrustas hybridfordon förutom med start & stop system även med regenerativ bromsning för att ta till vara den energi som frigörs vid inbromsningar varvid man i princip låter elmotorn bromsa bilen och genom att fungera som generator ladda in energin som elektrisk ström i batterierna.

Återmatningen svarar då alltså för en del av batteriladdningen vid sidan av den laddning som sker via bilarnas generatorer eller som i fallet plug-in hybrider från elnätet.

Varje hybridiseringsgrad ställer sina specifika krav på batterilösning och inget batterisystem står idag ensamt för lösningen till den totala kravprofilen där förutom de rent elektriska prestandakraven även faktorer som batteriernas livslängd, industriella mognad, återvinningsmöjligheter och kostnadsaspekter måste vägas in.

I dagens kommersiella hybridfordon har därför olika batterisystem kommit till användning såsom:

- Blybatterier
- Nickel - metallhydrid (Ni-MH) batterier
- Litium-jon (Li-jon) batterier

Gemensamt för all hybriddrift blir att batterierna får en mer aktiv roll under körning. Detta innebär att de jämfört med den konventionella användningen dels kommer att utsättas för en högre energigenomströmning, pga alla i- och urladdningar, och dels att de i större omfattning än idag kommer att arbeta i ett delvis urladdat tillstånd.

### **Dagens batterier och morgondagens utmaningar**

Startbatterierna i dagens bilar är genomgående av bly-syratyp och blybatterier kommer även i framtiden att vara den mest kostnadseffektiva lösningen för mikrohybrider och förmodligen även för milda hybrider.

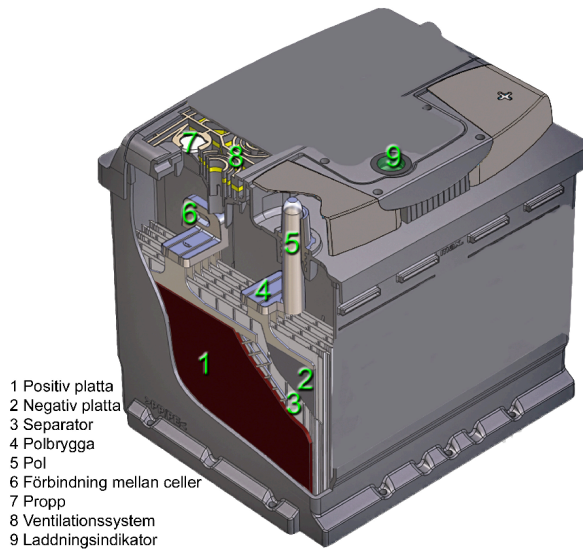
Mycket har hänt med batterierna under årens lopp. För femtio år sedan ersattes de forna 6V-systemen med moderna 12V-systemen, för trettio år sedan dök de första sk underhållsfria batterierna upp, alltså batterier som man normalt inte behöver fylla vatten på efter att de installerats i bilen och för tio år sedan började man använda sk ventilreglerade batterier även i bilar.

Det gemensamma har dock hittills varit att batteriernas strömförsörjning till bilen varit såpass begränsad att de i huvudsak har kunnat hållas mer eller mindre fulladdade under hela drifttiden. I framtidens fordon kommer detta att förändras. På grund av det större behovet av ström från batterierna kommer de i betydligt högre utsträckning under sin drifttid att vara delvis urladdade, vilket ju också är en förutsättning för att man skall kunna ta emot energin från regenerativ bromsning.

Det faktum att batterierna vanligen kommer att vara delvis urladdade innebär en komplikation eftersom batterier som får stå i urladdat tillstånd normalt får en förkortad livslängd pga av vad som brukar kallas sulfatering.

För att förstå hur de framtida kraven påverkar utvecklingen av blybatterierna kan det vara lämpligt att schematiskt beskriva hur ett batteri fungerar.

I figur 1 visas i genomskärning den principiella uppbyggnaden av ett konventionellt startbatteri.



*Figur 1*

Ett bilbatteri består av sex stycken seriekopplade celler som i fulladdat tillstånd vardera ger en spänning av ca 2,1 V, alltså blir den totala spänningen mellan polerna med sex celler i serie  $6 \times 2,1 = 12,6 \text{ V}$ .

I varje cell är elektroder, eller plattor som de också kallas, av samma polaritet parallellkopplade, dvs alla positiva plattor är lödda till en gemensam positiv polbrygga, och på samma sätt är alla negativa plattor lödda till en gemensam negativ polbrygga. Plattsatsen som byggs upp av omväxlande positiva och negativa elektroder hängande sida vid sida och elektriskt åtskiljda av en separator är nedsänkt i den vätska, elektrolyt, som finns i cellerna och som är en blandning av svavelsyra och vatten.

Batteriernas förmåga att lagra ström brukar dels anges med kapaciteten i (Ah) och dels med köldstartströmmen i (A), som mäts vid  $-18^\circ\text{C}$ . Bägge storheterna finns angivna på etiketten och bestäms främst av batteriets fysiska dimensioner men det finns dock möjligheter att till viss del konstruera batteriet med prioritet åt den ena eller andra av storheterna. Huvudregeln är att en konstruktion med många tunna plattor ger ett batteri med hög köldstartström men lägre kapacitet medan få tjocka plattor ger högre kapacitet och lägre köldstartström.

### **Laddning och urladdning**

När kablar från en yttre krets, tex en motor, ansluts till batteriets poler startar kemiska reaktioner inuti cellerna och ger upphov till en transport av elektroner, alltså en elektrisk ström, i den yttre kretsen. Härigenom kommer batteriet att urladdas.

Under urladdningen binder de kemiska föreningarna i elektroderna svavelsyra som finns i elektrolyten till sig. Svavelsyran kommer alltså att förbrukas och elektrolyten blir alltmer utspädd allteftersom urladdningen fortgår. Det är detta som gör att ett batteris laddningstillstånd kan bestämmas genom mätning av elektrolytens (batterivätskans) täthet, densitet.

Reaktionerna vid urladdning är dock reversibla vilket betyder att man genom att driva en ström i motsatt riktning kan återbilda de ursprungliga föreningarna, dvs batteriet laddas upp och kan användas för nya urladdningar.

Vid återladdning laddas praktiskt taget 100 % av de föreningar som bildades vid urladdningen tillbaka. På så sätt behåller batteriet sin kapacitet under lång tid. Men varje urladdning/laddning medför ett visst litet slitage på de aktiva materialen vilket leder till att batteriets elektriska prestanda försämras och att det med tiden behöver bytas ut.

Man brukar räkna med att ett batteri i normalfallet skall ha en livslängd på ca fem år, men beroende på användningssätt förekommer stora variationer i de enskilda fallen. För att uppnå bra batterilivslängder behöver man vid konstruktion och tillverkning ha kontroll över de typiska felkällor som vanligen leder till att batterierna tappar kapacitet och blir förbrukade.

Vanliga felorsaker är:

- Korrosion och längdtillväxt på gallren i den positiva plattan. Korrosion betyder att gallren oxideras av den syrgas som utvecklas under laddningen. Korrosionen är en naturbunden process som inte kan förhindras, men däremot kan omfattningen och skadeverkningarna på gallren minskas genom att dels kontrollera laddningen så att gasutvecklingen begränsas och dels genom att tillverka gallren i blylegeringar som är motståndskraftiga mot korrosion. Idag används vanligen kalciumlegerat bly vid tillverkning av galler för startbatterier. Legeringarna och inblandningen av olika tillsatser är väl utprovade och tillsammans med en kontrollerad tillverkningsprocess producerar man idag galler med hög motståndskraft mot korrosion.
- Förändringar i den positiva massans struktur. Under i- och urladdningar är det den positiva massan som utsätts för störst påfrestningar. För att den skall ha bra och bestående mekanisk och elektrisk kontakt med gallret tillsätter man vanligen tenn i gallerlegeringen som förhindrar att isolerande skikt skall kunna uppträda i gränsytan mellan galler och massa. För att strukturen av den positiva massan skall kunna behållas så intakt som möjligt och klara cykling utan att massan blir mjuk eller rent av lossnar och faller av från gallren behöver man vid produktionen dels tillverka ett aktivt material med hög densitet och dels processa de positiva plattorna på ett speciellt sätt för att bilda en cyklingstålig struktur.
- Den negativa massan är mer skonad under drift än den positiva men det är nödvändigt att vid tillverkningen blanda in en mix av tillsatser för att den över huvud taget skall fungera. För att de kemiska reaktionerna skall kunna ske effektivt måste massan ha en stor reaktionsyta vilket man uppnår tack vare att det aktiva materialet har en porös och lucker struktur. En negativ massa utan tillsatser kommer snabbt att sintra ihop och reaktionsbenägenheten går till stor

del förlorad. Med hjälp av tillsatserna säkerställer man att den porösa strukturen bibehålles samtidigt som den bidrar till att öka den elektriska ledningsförmågan i massan. Det finns ingen standardiserad sammansättning för tillsatserna utan batterifabrikanterna använder sina egna recept men effekten är likartad och de batterier som finns på marknaden har genomgående en bra stabilitet i det negativa aktiva materialet.

- Det som nu tillkommer i framtidens batterier är att kunna bemästra den sk sulfateringen som uppträder när batterierna arbetar i ett delvis urladdat tillstånd. Mekanismen bakom detta beskrivs nedan.

Under laddningen frigörs svavelsyra från de kemiska föreningar som finns i plattorna och denna syra ”vandrar” ut i elektrolyten. Man ser detta genom att elektrolytens, batterivätskans, densiteten åter stiger.

När svavelsyran bildas sjunker den ner mot botten i cellerna vilket gör att halten svavelsyra blir ojämnt fördelad om laddningen avbryts innan batteriet blir fulladdat. Det är först i samband med den gasutveckling som sker i slutskedet av laddningen som man får en bra omblandning och homogen fördelning av svavelsyran i elektrolyten.

Om batterierna lämnas i delvis urladdat tillstånd med hög svavelsyrakoncentration i botten på cellerna så kommer de kemiska föreningar som bildats vid urladdningen att få en förändrad kristallstruktur som innebär att de blir svåra att på nytt ladda upp. Särskilt gäller detta den negativa plattan. Det praktiska resultatet blir att batteriet tappar kapacitet eftersom de föreningar som bildats vid urladdningen kommer att finnas kvar i urladdat tillstånd även efter uppladdning och därmed inte kommer att delta i reaktionerna och leverera ström i den efterföljande urladdningen. Man säger att batterierna sulfateras och detta är ett bestående tillstånd som innebär att batteriet blir fördärvat.

Att kunna bemästra denna problematik är därför en av de viktigaste utmaningarna vid framtagning av batterier för hybridfordon och man behöver då förutom de konstruktionslösningar som är framtagna för att tillverka dagens driftsäkra konventionella batterier även lösa sulfateringsproblematiken.

## **AGM och Gel**

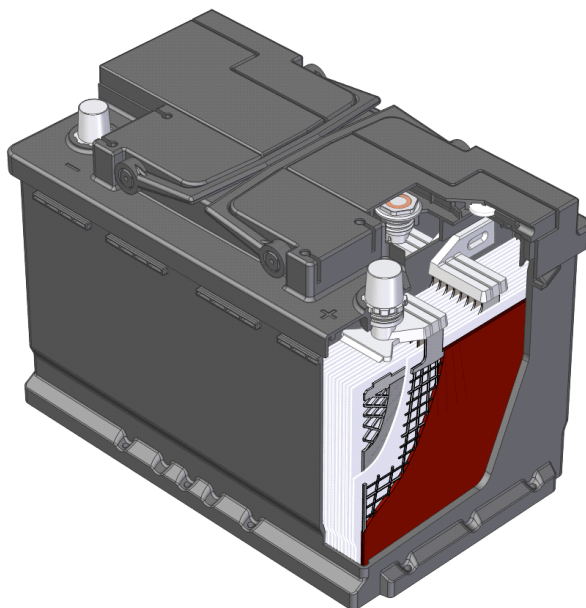
Eftersom det är skiktningen av syra som är grundorsaken till sulfatering så kan man rent konstruktionsmässigt förstå att problemet kan hanteras på ett förhållandevis smidigt sätt om man använder sig av konstruktioner där elektrolyten inte har fri rörlighet utan istället är fixerad inom plattsatsen.

Den speciella teknik som de ventilreglerade batterierna bygger på borde alltså kunna vara en bra lösning.

I ventilreglerade batterier finns ingen fri flytande elektrolyt utan den är bunden antingen i en geléartad massa som i gelbatterierna eller uppsugen i mikroporösa glasfiberseparatorer som i de sk AGM-batterierna.

Gelén ger gelbatterierna ett förhållandevis högt inre elektriskt motstånd varför denna konstruktion får sämre köldstartsegenskaper och därför vanligen inte används som startbatterier. Däremot har AGM-batterierna utmärkta startbatteriegenskaper och de har därför blivit mycket intressanta vid utvecklingen av framtidens batterier.

AGM-batteriets uppbyggnad är lik det konventionella batteriets med den skillnaden att det vanliga batteriets polyetenseparatorer är utbytta mot en filtad glasflossseparator. Se principskiss i nedanstående Figur.

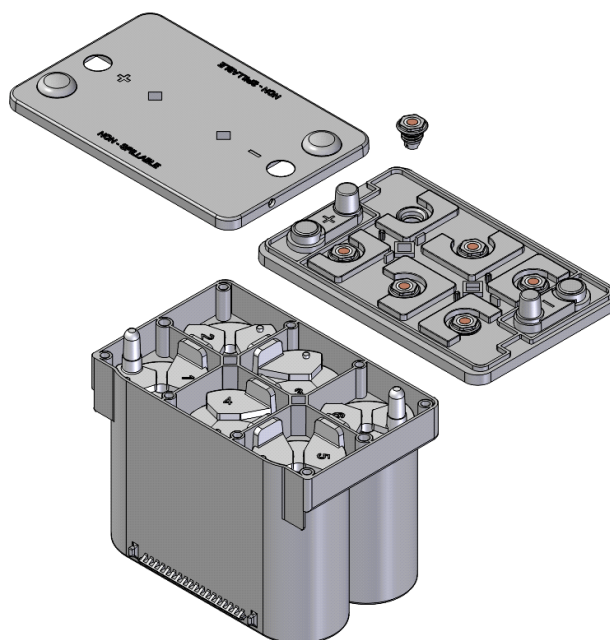


***Figur 2, Genomskäring av ett AGM-batteri. Batteriet har samma konstruktion som ett vanligt konventionellt batteri men den konventionella separatorn har ersatts med en filtad separator som suger upp elektrolyten.***

När svavelsyran frigörs från plattorna suges den upp i glasfibern mattan och kommer därmed inte att sjunka ner mot botten som i ett vanligt batteri med fri flytande elektrolyt.

Generellt kan man säga att AGM-batterier har de egenskaper som krävs för att bli en mycket bra batterilösning för framtidens mikro- och milda hybrid fordon. AGM-batterier har de robusta och komprimerade plattsatser som behövs för att klara den högre energigenomströmningen. De har utmärkta köldstartegenskaper och bra laddningsmottaglighet vilket bidrar till att de kommer att arbeta vid ett högre laddningstillstånd än batterier som är mer svårladdade och att de naturligtvis tack vare laddningsmottagligheten effektivt drar nytta av återladdning från regenerativ bromsning. Och utöver detta har de alltså en fixerad av elektrolyt som medför att problemen med sulfatering kan bemästras på ett bra sätt.

Den speciella design som har de bästa egenskaperna i detta sammanhang är de batterier som har en spiralformad konstruktion av cellerna. Den principiella utformningen av sådana batterier framgår av nedanstående figur.



*Figur 3, Genomskäring av ett spiralformat batteri.*

I dessa batterier är startströmmen överlägset bättre än i vanliga sk prismatiska, fyrkantiga, batteriutföranden samtidigt som den mekaniska uppbyggnaden är mycket kompakt och robust vilket ger ett batteri som är mer motståndskraftigt mot slitage vid cykling än konventionella celler. Nackdelen med batteriet är att kapaciteten blir lägre än i ett prismatiskt batteri pga att inte hela batterivolymen kan utnyttjas eftersom det uppstår hålrum mellan de enskilda cellerna till följd av den runda cellformen.

### **Dagens teknik räcker – även i framtiden**

I ett vanligt konventionellt batteri föreligger de problem som nämnts med sulfatering till följd av syraskiktningen men med god ingenjörskonst från ledande batteriproducenter, bland annat Exide Technologies, har man lyckats förbättra konstruktionerna även för dessa batterier och uppnått goda resultat för användning i mikrohybrider med start & stop system. Redan idag finns denna typ av batterier i flera olika bilmodeller.

Fritt ventilerade batterier är produktionsmässigt enklare och därmed en billigare lösning än AGM-batterier. De är dessutom mindre känsliga för höga temperaturer

eftersom de innehåller mer elektrolyt och de är därför ett utmärkt alternativ i de fall AGM-batterierna bedöms mindre lämpliga.

För att åstadkomma bra motståndskraft mot sulfatering i konventionella batterier med fri flytande elektrolyt krävs att man bygger dem med filosofi av samma slag som används i de ventilreglerade batterierna. Det innebär att välja legeringar med sammansättningar som är korrosionsbeständiga, att tillverka positiva plattor med en högre massatäthet än vad som är normalt för dagens standardbatterier, att tillverka plattsatser som får en hög mekanisk kompression när de monteras i cellfacken, att tillverka de negativa plattorna med en massa som ger bra balans mellan köldstartström och laddningsmottaglighet för att batterierna skall arbeta vid högsta möjliga laddningstillstånd och att man dessutom drar nytta av glasflossens förmåga att fördröja syraskiktning genom att använda separatorer som är belagda med ett skikt av glasfloss. Om dessutom tillsatserna till den negativa massan modifieras så att de ger en bättre elektrisk ledningsförmåga runt sulfatkristallerna så bidrar detta till en förbättrad uppladdning av sulfatet och därmed minskade problem med sulfatering. Fritt ventilerade batterier byggda enligt dessa principer har visat sig ge mycket goda driftsresultat i fordon med start & stop system, och bilindustrin visar ett allt större intresse för den här typen av batterier. En viktig faktor i det sammanhanget är den större tolerans mot höga temperaturer som detta batteriutförande har jämfört med AGM-batterierna, en mycket viktig aspekt i de fall batterierna är placerade i en varm omgivning tex i varma motorrum.

### **Sammanfattning**

Sammantaget kan sägas att ventilreglerade batterier är den bäst lämpade batteriteknologin för att möta framtidens driftprofiler i hybridfordon. Ur ren cyklingssynpunkt är den runda cellformen med spirallindade plattsatser bättre än den prismatiska formen tack vare att en rund geometri möjliggör att plattsatsen kan byggas in med en högre mekanisk kompression. Ur kapacitetssynpunkt är prismatisk form bättre pga att man inte får någon tom volym eftersom man där kan utnyttja hela batterivolymen. Den pågående utvecklingen av vanliga standardbatterier har dock medfört avsevärda förbättringar som gör att även denna teknologi är på stark frammarsch i fordon med start & stop system.

Christer Svensson  
Kungälv 2009