



Nästa Generations Batterisystem



Projekt inom FFI Energi & Miljö

Theresa Granéus, Volvo Car Group

2015-04-30

Content

1. Sammanfattning	3
2. Bakgrund	3
3. Syfte	5
4. Genomförande	5
4.1 WP 1 – Technology Watch	6
4.2 WP 2 – Optimering av Batterisystem.....	8
4.3 WP 3 – Batterimodeller.....	9
4.4 WP 4 – Styrsystem & Funktionalitet.....	10
4.5 WP 5 – Cellbalansering.....	11
4.6 WP 6 – Batterianvändning	12
4.7 WP 7 – Batterilivslängd	16
4.8 WP 8 – Fält-test Utrustning i Hybrid Applikationer	20
4.9 WP 9 – Elektrokemisk Säkerhet.....	21
4.10 WP 10 – Energieffektivt kylsystem	21
5. Resultat	23
5.1 Bidrag till FFI-mål	23
6. Spridning & Publicering	23
7. Slutsatser & Fortsatt Forskning	24
8. Deltagande Parter & Kontaktpersoner	24

FFI in short

FFI is a partnership between the Swedish government and automotive industry for joint funding of research, innovation and development concentrating on Climate & Environment and Safety. FFI has R&D activities worth approx. €100 million per year, of which half is governmental funding. The background to the investment is that development within road transportation and Swedish automotive industry has big impact for growth. FFI will contribute to the following main goals: Reducing the environmental impact of transport, reducing the number killed and injured in traffic and Strengthening international competitiveness. Currently there are five collaboration programs: **Vehicle Development, Transport Efficiency, Vehicle and Traffic Safety, Energy & Environment and Sustainable Production Technology**. For more information: www.vinnova.se/ffi



1. Sammanfattning

En förutsättning för ett framgångsrikt införande av elektrifierade fordon såsom hybrid, plug-in-hybrid- och elektriska bilar är en ökad kompetens och kunskap inom batteriområdet. I dag ser vi en snabb teknikutveckling särskilt när det gäller li-jon battericeller. Batterisystemet är ett viktigt system i fordonen för Volvo Car Group's (VCG) förmåga att genomföra företagets strategiska elektrifiering planer, vilket beror på batterisystemets komplexitet, kostnad, säkerhetsaspekter och livslängdskrav samt på leverantörsledets i många fall otillräckliga kunskaper.

De viktigaste målen för detta projekt (NGBS) var att möjliggöra höga volymer av elektrifierade fordon, genom att införa en top-down utvecklingsstrategi, minska batteri systemet's totala livslängdskostnad och att utveckla specifika kunskaper om VCG's nästa generations batterisystem. I projektet har vi formulerat ett väldigt aggressiv kostnadsmål. Målet var att minska batteriets livslängdskostnad, fortfarande med bibehållna egenskaper, med 50% jämfört med VCG's första generation plug-in-hybrids (PHEV) batteri från 2012 (V60 PHEV). Detta mål uppnåddes med stor marginal. Produktkostnaden (\$/ kWh) har minskat från V60 PHEV till nästa plattform (CMA) PHEV med 60%.

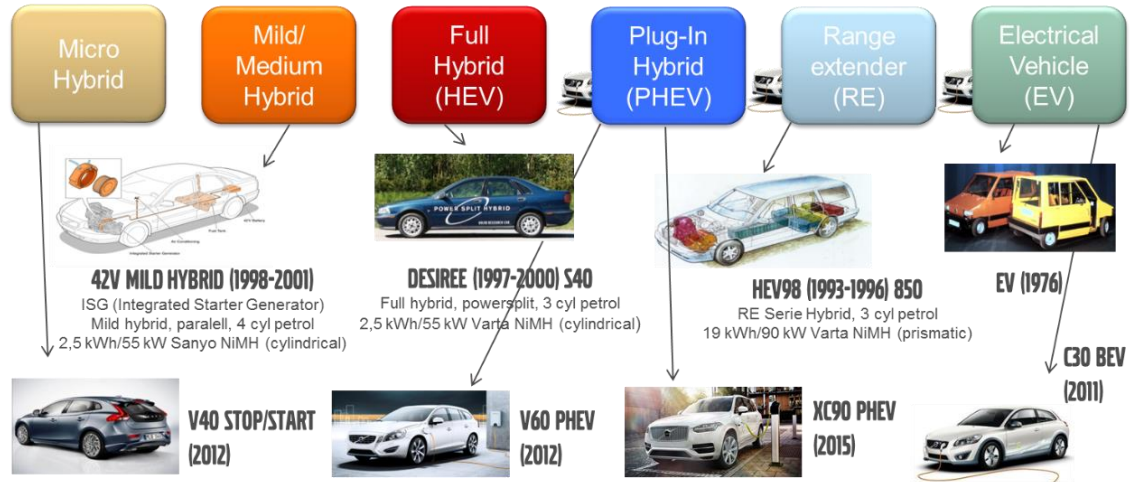
Att bemästra batteriets cellteknik och förstå hur man använder batteriet optimalt och därmed leverera, för kunderna önskvärd, elektrisk körsträcka och prestanda är den främsta utmaningen för att uppnå en solid lönsamhet i VCG' elektrifieringsstrategi. De högt uppsatta målen i projektet har uppnåtts och den strategiskt viktiga batterikunskap som erhållits inom alla batteriområden har gjort Volvo Car Group till en bättre kravställare, utvecklare och inköparen av batterisystem. Ett kommersiellt batterisystem med egenskaper som uppfyller kundernas krav på egenskaper som exempelvis elektrisk körsträcka samt fordonets prestanda kommer att möjliggöra genomförandet av Volvo Car Group elektrifierings program.

2. Bakgrund

Volvo Car Group's vision är att vara världens mest progressiva och önskade premium-bilmärke. VCG kommer att stå ut från mängden genom att leverera en distinkt och sofistikerad bilupplevelse, byggt på vår egna, unika skandinaviska profil. Vi kommer att utmana konventionellt tänkande genom att leverera kompromisslös rörlighet som stödjer en hållbar framtid. Önskad av våra kunder. Respekteras inom vår bransch. Dessutom inspirerad av ett globalt samhälle i ständig rörelse.

Kärnvärdena hos Volvo Car Group är säkerhet, kvalitet och miljö. Människors hälsa, energieffektivitet och resurseffektivitet driver vårt fokus på miljön. Vi kommer att fortsätta att utforma våra produkter att vara en naturlig del i en hållbar framtid samt vara en naturlig del av människors liv, där vi strävar efter kompromisslös rörlighet. Exempelvis betyder införandet av Drive-E fordon mer prestanda med mindre bränsleförbrukning. Volvo Car Group leder kapploppningen av CO2-minskningen genom att vi minskade flottan utsläpp med 12 gram (8%) under 2013. Detta är en minskning med 42 procent sedan 1995. För Volvo Car Group är framtida rörlighet samma sak som hållbar rörlighet. Volvo Car Group har 40 års erfarenhet inom effektivitet och elektrifiering och vi kommer att fortsätta att aktivt förnya oss så att hållbar rörlighet uppnås.

“We have a very strong portfolio of plug-in hybrid products right now. In fact we have the broadest offer of all car manufacturers. But we are not stopping there. We will introduce two new Twin Engine variants every year in the coming years,” sa Dr. Peter Mertens, Senior Vice President Research & Development inom Volvo Car Group i april 2015.



Figur 1. Exempel på projekt inom Volvo Car Group inom elektrifierings-området under de senaste 40 åren.

Batterisystem för fordonsindustrin är ett område som utvecklas snabbt. Inlärningskurvan inom området har varit brant under de senaste åren. När Volvo Car Group utvecklade V60 PHEV och lanserade den 2012, fanns det fortfarande mycket få elektrifierade fordon (till exempel hybrid, plug-in hybrid och rena elbilar) på marknaden. Idag ökar antalet elektrifierade fordon, särskilt plug-in hybridbilar, stadigt på marknaden. Under tiden för projektet's fyra år har den allmänna kunskapen inom batteriområdet för både batteri- och cell-leverantörer tillsammans med fordonstillverkare ökat väldigt mycket. Så också inom VCG, på grund av detta projekt.

Batteriutvecklingen förändras väldigt snabbt med nya batteri-kemier och tekniker som introduceras på marknaden. Detta innebär att idag finns det inga enkla svar på hur länge och i vilken utsträckning batteriet räcker, då batterierna som producerades ett decennium sedan var avsevärt annorlunda än dagens batterier. Dessutom produceras de flesta av dem för konsument-elektronik som har ett betydligt annorlunda användningsmönster och livstidskrav.

Ett strategiskt steg som tagits av många företag inom fordonsindustrin är att de själva utvecklar och konstruerar nya funktioner och kontroll-algoritmer för att nå de önskade behoven hos kunderna avseende prestanda, säkerhet och livslängd. En optimering av batteriets egenskaper och kunskaper om hur kunden kommer att använda batteriet i olika applikationer är en förutsättning för att få den önskade livslängden med en låg kostnad. Att kunna prediktera livslängden på dessa batterier i dagens fordon är idag ett strategiskt viktigt område och fordonstillverkarna behöver fortsätta arbetet med att utveckla tillförlitliga metoder för livslängdsestimering.

Volvo Car Group måste fortsätta att bygga upp kompetens för att erhålla strategiskt viktiga kunskaper för att kunna utveckla VCG specifika viktiga strategier för funktionalitet och batterianvändning. Det är en förutsättning för att minimera batterisystemets kostnad, vikt och



volym, samt leverera en premium bil-upplevelse och tillfredsställa våra kunders önskan avseende elektriska körsträcka och prestanda för våra elektrifierade fordon.

3. Syfte

Huvudmål för projektet var att möjliggöra höga volymer elektrifierade fordon, genom att införa en top-down ingenjörstrategi och erhålla strategiskt viktiga kunskaper inom batteriområdet. Benchmark av Volvo Car Group's konkurrenter samt grundliga utvärderingar av cell- och batteri-leverantörer har utförts.

Olika metoder inom olika områden har utvecklats för att optimera batterianvändning, livslängd, kostnad, HW/SW lösningar, termiskt system, säkerhet, volym och vikt, som var ett av målen i projektet. Inom projektet har vi utvecklar kunskaper för specifikation av VCG's nästa generation batterisystem, såsom design guidelines för framtida batterisystem.

Inom projektet formulerade VCG mycket aggressiva kostnads-, vikt- och volymmål. Kostnads målet var att minska batterisystemets livslängdskostnad med 50% (med bibehållna egenskaper) jämfört med VCG's första generation PHEV-batteri från 2012. Detta mål har uppfyllts med stor marginal. Produktkostnaden (\$/ kWh) har minskat från V60 PHEV till nästa plattform PHEV (CMA) med 60%. Vikt- och volymmålet, att minska vikten och volymen med 25% från V60 PHEV, har nästan uppfyllts. Systemets vikt har minskat med 17 procent och volymen med 34% per kWh (energiinnehåll) från V60 PHEV till nästa plattform PHEV (CMA).

Målen för projektet har uppnåtts och den strategiskt viktiga batterikunskap som erhållits inom alla batteriområden har gjort VCG till en bättre kravställare, utvecklare och inköparen av batterisystem.

4. Genomförande

Batterisystemet innehåller ett antal olika komponenter och funktioner vilket kräver kunskap från olika discipliner, som till exempel kemi, mekanik och termo.

För bemästra batteriområdet, krävs en hel del olika kompetenser och inom projektet har vi satt upp tio arbetspaket som omfattar sex olika batteriområden; systemdesign & optimering, Styrsystem & Funktionalitet, Modeller, Batterianvändning & Livslängd, Säkerhet och Termiskt System.

Tabell 1. Arbetspaket och motsvarande batteriområdet inom projektet.

Work Package	
1	Technology Watch
2	Optimering av Batterisystem utifrån cost, vikt, liv och service
3	Batterimodeller

4	Styrssystem & Funktionalitet
5	Cellbalansering
6	Batterianvändning
7	Livslängd
8	Field-test Utrustning i Hybrid Applikationer
9	Electro-kemisk Säkerhet
10	Energieffektivt kylsystem

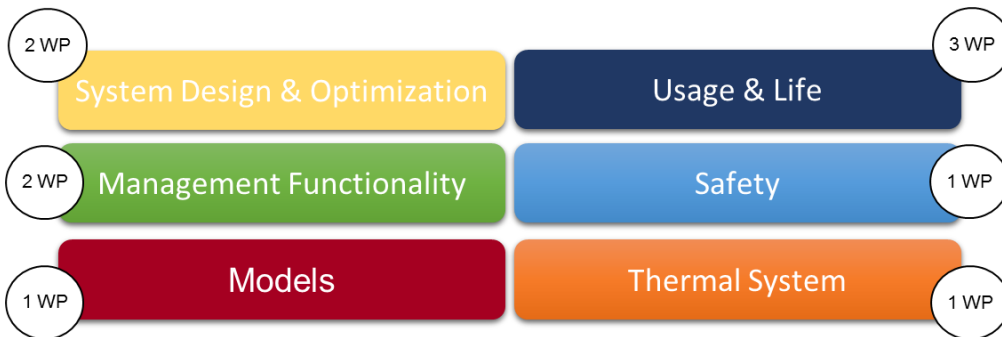


Figure 2. Battery areas where work have been performed within different work package.

4.1 WP 1 – Technology Watch

Li-jon tekniken är relativt omogen och genomgår kontinuerligt snabba och frekventa förändringar. Omogna leverantörer, särskilt när det gäller batteri-packning, batterianvändning i fordon och predikterbarhet för batteriets livslängd, har tvingat många av VCG's konkurrenter att skjälva hantera batteriintegrationen i fordonen. VCG behöver erhålla strategiskt viktiga kunskaper och utföra en grundlig technology watch, inbegripet benchmark aktiviteter samt utvärdering av batterileverantörer och deras cellers prestanda.

Under de senaste åren har VCG även observerats att konkurrenterna bygger upp batterilabb för intern provning av celler, moduler och batterisystem. Inom WP ingick också att förstå vilken typ av egen testutrustning som VCG behöver. Syftet med WP 1 var att få konkurrensfördelar så Volvo Car Group har möjlighet att erbjuda den senaste batteritekniken tidigare till en bättre kostnad.

Syfte & Måluppfyllelse

Syftet med arbetetspaketet var att erhålla strategisk kunskap inom batterisystem och battericeller genom att genomföra batterileverantörs-utvärderingar och utföra benchamrk bland konkurrenter med hybrider (HEV), plug-in-hybrider (PHEV) och elbilar (EV). Med hjälp av erhållen kunskap om VCG's behov av intern provning av batterier har vi byggt en intern batteritestanläggning. Målen för arbetetspaketet har all uppnåtts.



Genomförande, Aktiviteter & Resultat

Under hela projektet's gång har en grundlig technology watch utförts. Den huvudsakliga verksamheten har varit att utvärdera cell- och batterisystemleverantörer genom benchmark aktiviteter enligt VCG's utvecklade metoder. Ett antal leverantörers och underleverantörers tekniker, strategier och koncept har utvärderats genom möten och besök hos olika företag. Batterileverantörer, både i Europa, Asien och USA har besökts eller intervjuats kontinuerligt under projektet. Leverantörsbesök och utvärderingsrapporter för olika leverantörer, till exempel av kinesiska cell-leverantörer, har skrivits. På samma sätt, har vi kontinuerligt under projektet gjort benchmark av våra konkurrenters befintliga och framtida hybrid, plug-in-hybrid och rent elektriska fordon. Detta har gjorts genom att besöka motormässor, allmän informationsinsamling och tear-down av konkurrenters fordon, som till exempel Opel Ampera.

En viktig del av leverantörsutvärdering är att utvärdera cellerna. Detta görs genom att utvärdera beginning-of-life (BOL) prestandan tillsammans med dess prestanda över livslängden. Cellernas prestanda mäts i energi eller kapacitet samt resistans eller effekt.

Utvärdering av cellens prestanda under dess livslängd innehåller information hur degraderingen av prestandan ändras på grund av hur cellen används. Kunskap inom cell- och batterianvändning för att leverera våra kunders önskemål avseende egenskaper, som exempelvis elektrisk körsträcka och prestanda har erhållits inom arbetspaket 6.

VCG har utvecklat specifika provningsmetoder för att utvärdera leverantörer olika celler. Dessa tester benämns referens performance test (RPT). Idag finns det ett antal olika internationella standardiserade testmetoder som används. Dessa har utvärderats inom projektet. VCG specifika RPT inklusive kapacitetprov och så kallade HPPC (Hybrid Puls Power Characterization) prov har utvecklats och använts för att utvärdera olika leverantörer HEV och PHEV celler i vårt interna batterilabb.

Utvecklingen av VCG speciella provningsmetoder hade inte varit möjligt utan ett internt batterilabb. På grund av de erhållna kunskaperna från detta projekt, har Volvo Car Group byggt upp ett labb med rätt utrustning utifrån företagets behov. Det är en stor konkurrensfördel att ha ett internt batterilabb. Kundnyttan av att bygga strategisk kompetens internt, också när det gäller att testa batterier, är att VCG kommer att förstå hur man använder batterisystemet mer optimalt och för att leverera konkurrenskraftiga elektrifierade bilar. Det är också viktigt att undvika alltför aggressiv användning av batteriet eftersom det kan leda till en för kort livslängd och höga garantikostnader tillsammans med missnöjda kunder. Volvo Car Group måste säkra batterilivslängden genom att verifiera våra livslängdsestimeringar. Inga standardiserade livslängdsmodeller finns idag och VCG har utvecklat en särskild process för att skatta livslängden beroende på hur kunderna använder bilarna. Estimeringsmodellen för livslängden använder resultat från accelererade livslängdsprov på cellnivå som input. Det finns idag inte heller några standardiserade livslängdsprov, utan VCG har utvecklat specifika accelererad livslängdstester på cell-, modul- och systemnivå. Specifikt utvecklade testmetoder är nödvändigt för alla projekt för att få kunskap för att kunna verifiera batterilivslängden.

Färre testfordon driver Volvo Car Group mot mer modell-baserad utveckling, som i sin tur är en förutsättning för kortare tid till marknaden och minskade utvecklingskostnader. En förutsättning för modell-baserad utveckling är att vi har olika validerade cell, modul och system-modeller för batteriet. För att utveckla och validera, till exempel modeller för kontrollalgoritmer måste VCG kunna karakterisera cellerna och testa dem därefter. VCG har även ett behov av att bygga upp



kompetens internt för att kunna säkra rätt leverantörsval genom att göra benchmark och testa leverantörer olika celler.

Vi har deltagit på ett antal olika konferenser under projekttiden. VCG har även delat med sig av den erhållna kunskapen olika konferenser och på olika interna och externa seminarier och workshops.

4.2 WP 2 – Optimering av Batterisystem

Batterisystemet är ett kritisk komponent för Volvo Car Group möjlighet att realisera företagets strategiska elektrifierings-program, på grund av systemets komplexiteten, kostnad, krav på säkerhet och livslängd. Syftet med arbetspaketet var att genomföra långsiktiga kostnadsminskningar av batterier som skulle möjliggöra höga volymer av elektrifierade fordon i framtiden.

Syfte & Måluppfyllelse

Syftet var att utveckla en metod för att optimera kostnad, vikt och säkerhet för batterisystem och säkra framtida integreringen av kompletta batterisystem i fordonen med en skalbar batterisystem design. Inom arbetspaketet togs Design Guidelines fram med kravspecifikationer för batterisystem och dess ingående komponenter och funktionalitet. Ett antal aktiviteter har utförts för att utveckla Design Guidelines där även strategier för batterianvändning och VCG's cellstrategi ingår för befintliga och framtida projekt. En commodity business plan (CBP) för systemdesign, inköp och tillverkning av batterisystem har också tagits fram. Målen för arbetspaketet har uppnåtts.

Genomförande, Aktiviteter & Resultat

Inom projektet upprättades en commodity business plan (CBP) för batterisystemet. När detta projekt startade präglades batterisystemen av följande problem som driver kost.

- Li-jon tekniken är relativt omogen och genomgår kontinuerligt snabba och frekventa förändringar.
- VCG har låga volym-predikteringar på grund av bristande utrymme i fordonen för att packa in stora batterisystem samt oklara interna krav på batterisystemet som driver kostnader.
- Låga förväntningar på produktionsvolymer av elektrifierade fordon hindrar volym-drivna kostnadsstrategier.
- En omogen leverantörsbas, särskilt när det gäller batteri-packning och batterianvändning, tvingar konkurrenterna att själva hantera batteriintegration och utveckling.

Inom arbetspaketet har den huvudsakliga verksamheten varit att identifiera viktiga parametrar för optimering av kostnaden, HW/SW lösningar, termiska system, säkerhet, volym, vikt, batterianvändning och livslängd. Resultatet är sammanfattat i Design Guidelines. Dokumentet innehåller riktlinjer för att säkra den framtida integreringen av batterisystem med en skalbar batteridesign beroende på applikation. Syftet med Design Guidelines är att dokumentera den aktuella kunskapsnivå och internt sprida bästa praxis och erfarenheter inom området. Dokumentet fungerar som ett stöd för den interna konstruktion och utveckling av system och funktioner för att undvika att man upprepar tidigare problem och dåliga lösningar. Men också för att undvika att upprepa problem som uppstår i gränssnittet med andra komponenter. Dokumentet stöttar också



komponent- och systemkonstruktörer att välja eller exkludera tekniska lösningar, antingen internt utvecklade eller erbjudna av en leverantör.

Dokumentet täcker mer än enbart konstruktionsrelaterade riktlinjer. Mycket arbete utförs i utvecklingsprojekt innan konstruktionen och dimensionering börjar av systemen. Projektet startar med krav på ett antal fordonsegenskaper som senare måste brytas ned i system- och komponentkrav, som i sin tur sätter gränser för utformning, dimensionering och parametersättning. Eftersom alla dessa faser bidrar till den slutliga kvaliteten på produkten, såväl för vad kunden slutligen uppfattar som kvalité i bilen, men också för kvaliteten och effektiviteten i utvecklingsprocessen. På grund av det, riktlinjerna för hela utvecklingsprocessen ingår i dokumentet.

4.3 WP 3 – Batterimodeller

Modell-baserad utveckling är en förutsättning inom bilindustrin på grund av väldigt korta utvecklingstider och låga kostnadskrav. Genom att möjliggöra modell-baserad utveckling i en högra grad kommer Volvo Car Group minska tiden det tar innan produkten når marknaden. Modell-baserad utveckling kräver utvecklade och validerade batterimodeller, som är beroende på VCG's möjlighet att testa celler, moduler och batterisystem internt. Inom batteriområdet, behövs olika modeller för olika ändamål. Utvärdering av behoven för olika modeller inom VCG har utförts. De elektro-kemiska processer som sker inuti cellerna är alltför komplexa för att utveckla användbara elektro-kemiska modeller. I stället kan motsvarande elektriska kretsdiagram användas för att representera cellerna's ström- och spännings-beteende. Dessa ger en ofullständig bild av cellernas karaktär men kan användas om begränsningarna i modellerna är kända och väl förstådda. Förutom elektriska modeller, har olika VCG utvecklat och validerat andra batterimodeller, såsom termiska, styralgoritmer, elektrokemiska impedans spektroskopi (EIS), livslängd, och kraschmodeller som även innehåller cellerna. Livslängdsmodellen har utvecklats inom WP 7 och kraschmodellen för celler har utvecklats inom WP 9.

Syfte & Måluppfyllelse

Målet var att utvärdera behovet och utveckla och validera specifika batterimodeller för Volvo Car Group, vilket har uppfyllts.

Genomförande, Aktiviteter & Resultat

En av de viktigaste aktiviteterna har varit att utvärdera behovet av olika batterityper inom VCG och dokumentera och dela information om befintliga batterimodeller inom VCG. Kunskap om olika batterimodeller har också förvärvats genom utvärdering och kartläggning av olika leverantörer erfarenhet och kunskap inom området.

Genom att utföra komplett-bils-simuleringar för drivlinan, kan VCG uppskatta bränsleförbrukningen's beroende av olika kontrollstrategier för drivlinan. Batterimodellen inom denna simuleringsmodell innehåller en plantmodell (inklusive en termisk modell) tillsammans med en styrkontroll-modell. Plantmodellen är en elektrisk modell, som bygger på en cellmodell som kan skalas till olika batterisystem beroende på antalet celler/moduler som anslutna parallellt eller i serie. Olika batteritekniker kan simuleras med denna modell genom att välja olika paramtersättningar. Styrkontroll-modellen innehåller en uppskattning av laddningsnivån (state-of-charge, SOC) i batteriet samt de begränsningar som används av PVC modellen (propulsive vehicle control) för att använda batteriet inom dess uppsatta gränser. Alla utvecklade modeller måste valideras. Dessutom innebär modellvalidering om att kvantifiera resultatet från en modell tillsammans med en



parametersättning jämfört med uppmätta data. Validering utförs alltid inom en definierad yta eller område som representeras av de inre tillstånden i modellen. Det motsvarar området där modellen är användbar.

Inom batteriets styrsystem (BMS) i fordonen finns en cellmodell som används i kontrollalgoritmerna. En utvärdering av de två olika cellmodeller som utvecklats av batterileverantören i V60 PHEV och XC90 PHEV har utförts. Utvärderingen konstaterar att det är extremt svårt att göra en modell som beter sig exakt som cellen, även inom realistiska spänningsnivåer. Det beror på att flera olika interna processer ger stora effekter på cellen spänningssvar. De är genom sin natur svåra att modellera, eftersom de behöver extremt detaljerad information om kemiska egenskaper som skiljer sig från celltyp till celltyp och även ändras under cellens livslängd. Den metod som används i implementeringen av kontrollalgoritmer är därför att förlita sig på bra algoritmer för att övervinna problemen med cellmodellen.

En elektrokemisk impedans spektroskopi (EIS) modell har utvecklats och validerats. Experimentella tester på celler har utförts för att ge indata till modellen. EIS är en experimentell teknik som används för att karakterisera elektrokemiska system, till exempel batterier. Metoden mäter impedansen hos ett system över ett antal frekvenser vilket ger information om masstransport-egenskaper och cellens kinetik. Arbetet med modellutveckling med hjälp av elektrokemisk impedans spektroskopi har gjorts i samarbete med AB Volvo.

4.4 WP 4 – Styrsystem & Funktionalitet

Syftet med arbetspaketet var att erhålla strategiska kunskaper inom batteristyrssystem (battery management system, BMS), dess funktionaliteten och algoritmer. Det finns ett antal olika funktioner i BMS:en, som exempel övervakning av cellerna (spänning, ström och temperatur), uppskattning laddningsnivån (SOC), användbar effekt (State-of-Power, SOP), användbar energi (State-of-Energy, SOE), batteriets hälsostatus (State-of-Health, SOH), funktion för cellbalans, diagnostiska funktioner och funktion för tillgänglig effekt.

Volvo Car Group har identifierat cell-algoritmer och mjukvaran för styrsystemets funktionalitet som områden av strategisk betydelse. Den långsiktiga strategin är att utveckla batteriets kontrollalgoritmer internt. Fördelarna är minskad ledtid, ökad kvalitet och därmed minskad risk för garantiutfall samt felaktig användning av cellerna. Det skulle minska VCG's beroende av leverantörernas kunskap. Det är strategiskt viktigt för VCG's elektrifieringsstrategi och företagets breddning av elektrifieringserbjudandet i framtiden och kommer ge oss möjlighet för en mer effektiv användningsoptimering med fokus på kundens behov.

Optimering och användning av adaptiva funktioner i batteriet kan VCG öka batteriets utnyttjande maximalt utifrån kundernas egenskapskrav, säkra livslängden, minska livslängdskostnaden och risken för höga garantikostnader.

Syfte & Måluppfyllelse

Det viktigaste målet, att få strategisk kunskap inom BMS funktionalitet har uppnåtts. Målet var också att utveckla BMS algoritmer av strategisk betydelse för Volvo Car Group. En Thermal Manager Control har utvecklats inom projektet. Mer omfattande arbete med utveckling av VCG's BMS kontrollalgoritmer har gjorts i andra projekt, som SOF (State-Of-Function), BATMAN och fortsätter i projektet, Livslång batteristyrning.

Genomförande, Aktiviteter & Resultat

Inom arbetspaketet har vi analyserat styralgoritmsystem som är nödvändigt för att kontrollera ett li-jon batteri under dess livslängd för att kunna optimera bränsleförbrukningen, elkörsträcka och CO₂-utsläpp under bilens hela livslängd.

Baserat på arbetet i projektet har vi tagit fram en uppdelning av algoritmerna, vilka man ska utveckla internt och vilka man skall låta leverantören utveckla. Några av de identifierade algoritmerna har redan utvecklats i egen regi. För att utveckla den här typen av funktioner internt, behövs en ordentlig utvecklingsprocess. VCG har utvecklat en arbetsmetodik för AUTOSAR som en del som vår normala utvecklingsprocess.

Den huvudsakliga aktiviteten inom arbetspaketet har varit att utföra en fördjupad analys av våra leverantörers algoritmer. I arbetet har vi analyserat och arbetat med olika förbättringar. Vi har analyserat fördelarna och nackdelarna med olika designalternativ och genom interna processer. Ett resultat av det arbete som utförs i NGBS har varit att vi har identifierat ytterligare kärnområden där det behövs ytterligare kunskap för att fullt ha möjlighet att utveckla viktiga algoritmer i egen regi. Arbetet med att öka kunskapen och ta fram specialister inom området, både internt och i det svenska fordonsklustret, har startat genom interna och externa forskningsprojekt. Ytterligare behov av kunskap om åldringsbeteendet hos li-jon celler samt deras interna elektrokemiska processer har också identifierats och arbetas med i ytterligare andra forskningsprojekt.

Den forsknings- och utvecklingsarbete som utförts har varit avgörande för att bygga den grund som behövs inom området. Vi har lärt oss att det breda område som omfattas av arbetspaketet har delar som behöver studeras mer i detalj i separata forskningsprojekt.

4.5 WP 5 – Cellbalansering

Batterisystem med li-jon celler måste ha ett cellbalanseringssystem. Balansering av cellerna görs för att för SOC av de individuella cellerna närmare varandra. Detta är nödvändigt för att få så mycket energi som möjligt ut från batterisystemet. SOC för individuella celler kan avvika på grund av olika cell-kapacitet, olika självurladdning, olika celltemperaturer. Bristande kunskap om cellbalansering utsätter Volvo Car Group för risker av höga garantikostnader och begränsad kundanvändning av batterisystemet.

Syfte & Måluppfyllelse

Huvudsyftet var att förvärva strategisk kunskap inom cellbalansering. Detta inkluderar kunskap om de olika anledningarna till att cellobalansering inträffar, kunskap om olika tekniker och koncept (aktiv och passiv balansering) och få kunskap om olika leverantörlösningar. Målen har uppnåtts och strategisk kunskap om cellbalansering har erhållits.

Genomförande, Aktiviteter & Resultat

De huvudsakliga aktiviteten har varit att utvärdera olika strategier och koncept för cellbalansering för olika HEV, PHEV och EV applikationer. Cellbalanseringstest har utförts på celler i en prototyp-modul. Benchmark och utvärdering av leverantörer har också gjorts inom arbetspaketet.

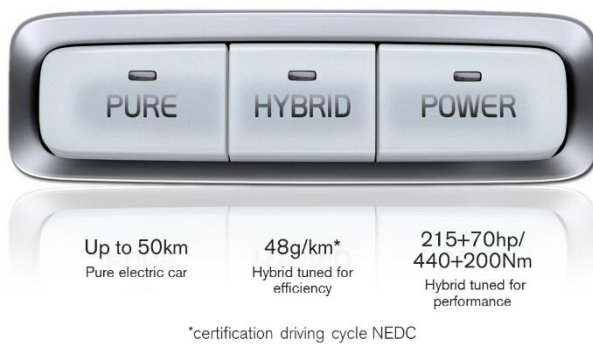
Aktiv och passiv balansering har utvärderats. Passiv balansering ger inte mycket högre kapacitet i batterisystemet om obalansen beror på olika kapacitet i de enskilda cellerna. Emellertid kommer

det att öka livslängden av systemet. Om obalansen beror på olika självurladdning av de individuella cellerna kan det normalt nästan helt kompenseras genom passiv balansering. Slutsatsen är att eftersom kvaliteten och homogeniteten hos fordons-celler som Volvo Car Group använder är mycket hög, är behovet av balansering låg och därför är passiv balansering tillräckligt. En balanserings-strategi har utarbetats internt som utgör en bas för framtida projekt.

De viktigaste resultaten är förvärvad kunskap om hur cellbalansering kan utföras med olika koncept. Dessutom, vilken typ av olika strategier kan användas, till exempel när ska balanseringen ske? Ett annat resultat är att kunskap från utvärderingen av olika leverantörers hårdvara. En benchmark av olika ASIC: s som används för att balansera och övervaka celler har gjorts i WP 2.

4.6 WP 6 – Batterianvändning

Kundnytta av att erhålla strategisk kompetens inom batterianvändning är att leverera önskad elkörsträcka och prestanda. Alltför aggressiv användning kan leda till för tidig batteridöd. Gedigen kunskap om celler och dess användningsmöjligheter ger konkurrensfördelar. Fordonstillverkare som kan utnyttja batteriet på bästa sätt kommer att ha en kostnad och prestanda fördel. En verifierad adaptiv användningsstrategi och funktionalitet är avgörande för att minimera risken för kort livslängd och hög garantikostnaden tillsammans med minskat varumärkes-värde.



Figur 3. Olika körlägen i V60 PHEV.

När projektet startade fanns det inga kund-fordon eller flotta med lång körsträcka eftersom den första Volvo PHEV inte var introducerad ännu. Det fanns ett behov inom Volvo Car Group att bygga upp kunskap och samla information från bilar på vägarna för att förstå batterianvändning och verifiera den första livslängdsestimeringen. Inom VCG, en kommunikations nod var under utveckling för att kunna samla in uppgifter och skicka den regelbundet genom 3G till VCG. Systemet användes för att utveckla metodiken inom felhantering för olika komponenter. Inom detta projekt togs en plan fram för att samla data från en flotta av V60 provbilar och så småningom även från kundbilar som var utrustad med loggers som samlar batterisignaler. Behovet var att verifiera de antaganden som gjorts avseende kunden, utveckla modeller för olika kundanvändning inom livslängdsmodellen, korrelera batterianvändning till dess ålder i livslängdsmodellen, verifiera modellen samt utveckla och verifiera användningsstrategier och funktionalitet för att säkra batteriets livslängd. VCG's livslängdsmodell och dess process utvecklades i arbetspaket 7.

Ytterligare kunskap om batterianvändning samt en utvecklad livslängdsmodell, har gjort det möjligt Volvo Car Group att förlänga livslängden genom att använda utvecklade

användningsstrategier inom projektet. Bristande kunskap om batterianvändning utsätter VCG för risker för höga garantikostnader.

Syfte & Måluppfyllelse

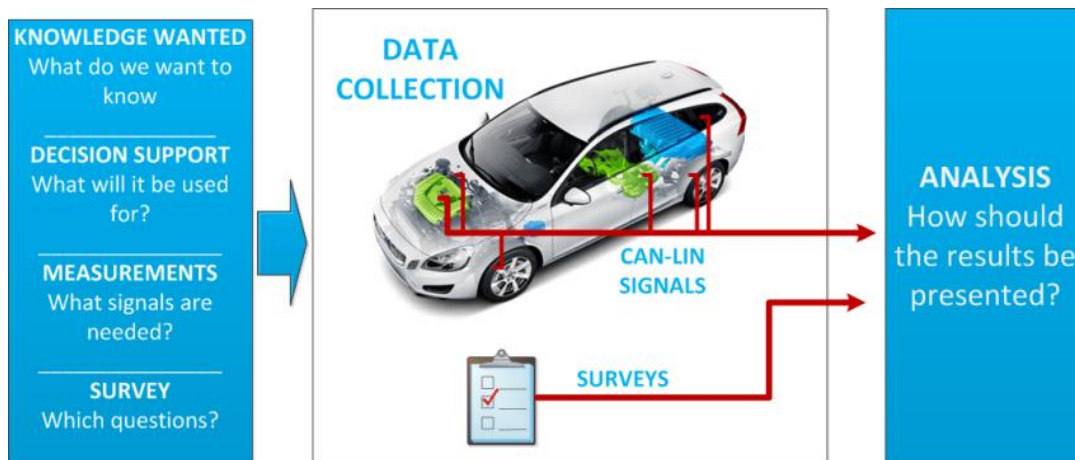
De viktigaste målet, att erhålla strategisk kunskap om hur kunden använder bilen, hur motsvarande batterianvändning ser ut och hur denna användning påverkar åldringen av batteriet har uppnåtts..

Genomförande, Aktiviteter & Resultat

För att kunna utveckla en metod för att förutsäga åldringen av batteriet för verkliga kunder, information om kundens körbeteende och körmönster tillsammans med specifik batteridata behövs. Datainsamlingen startade med några testbilar och har fortsatt under projektet med en större testflotta inklusive kundbilar.

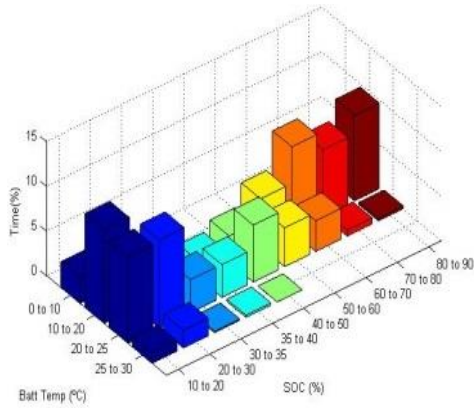
De berörda signalerna från alla komponenter (t.ex. batterisystemet) lagras kontinuerligt i en utrustning, som innehåller mätningssupdrag som kan ändras över tiden beroende på intresse från utvecklarna för olika komponenter. Varje gång fordonet är avstängd, skickas den insamlade datan via 3G-nätet med en transponder. Data laddas upp i en dataportal på VCG. Uppgifterna kan sedan analyseras under produktionsutveckling och användas för att utveckla felhantering.

Inom detta projekt har metoden för datainsamlingen utvecklats för att förstå kundens användning av batteriet och hur åldringen påverkas av olika sätt att utnyttja batteriet. Ett analysverktyg har utvecklats för att analysera batterianvändning. Projektet började med att fastställa vilken information som var intressant att förstå användning. Vad ville vi veta om körbeteende och batteriet nyttjande? Vilka signaler behövdes loggas för att få den önskvärda informationen? Dessutom hur ska informationen analyseras och presenteras i slutändan?

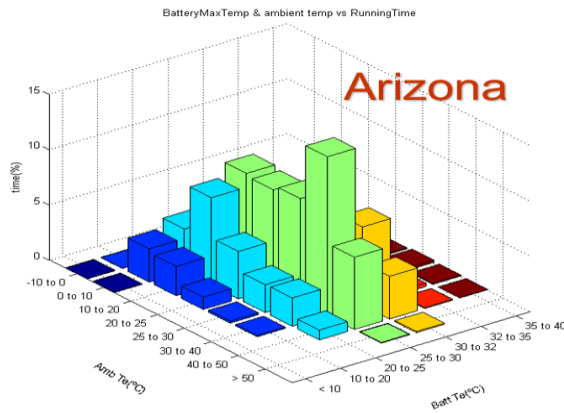


Figur 4. Processen för att utveckla analysverktyget för att förstå batterianvändning och hur det påverkar åldring av batteriet.

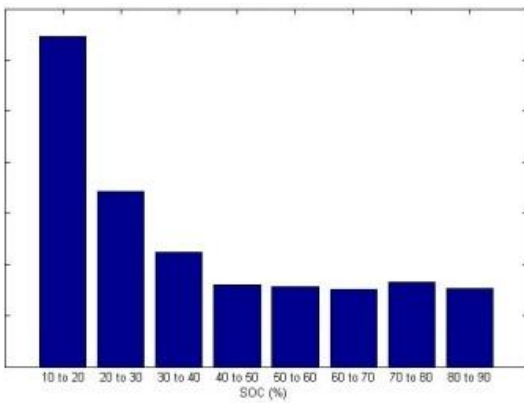
Ett stort antal analyser har utförts som har gett oss information för att utveckla livslängdsmodellen och hur degraderingen beror på det specifika kundbeteendet. Batteri-diagnostik samt felkoder samlas också in för att utveckla fel-hantering.



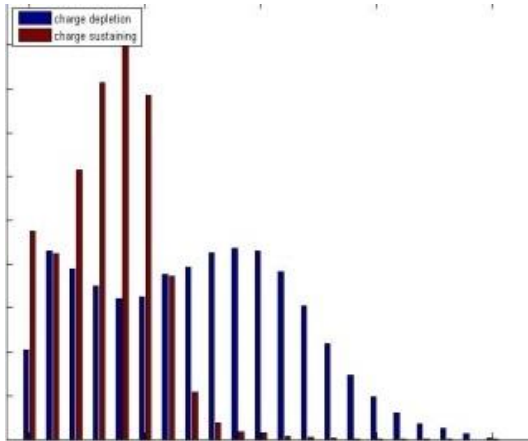
Figur 5. Exempel på batteritemperatur vs SOC histogram.



Figur 6. Exempel på utomhustemperatur vs batteritemperatur i en bil i Arizona.



Figur 7. Exempel på SOC histogram under körning.



Figur 8. Exempel på RMS (root-mean-square) ström under två olika körlägen.

Alla VCG's fordon har ett internt utvecklat system för att samla in data om alla komponenter i bilen. Systemet gör det möjligt att samla in parametrar och utföra diagnostik på bilen när den är på verkstad för service. Systemet kallas diagnostics-read-out (DRO) genom det kan en uppsättning batteriparametrar läsas ut och skickas för vidare analys. Kunskapen används för att utveckla diagnostik av kundanvändning och systemanvändning och felhantering. Inom arbetspaketet har vi utvecklat DRO för batterisystemet. Med informationen kan vi utveckla kundprofiler, körcykler, estimeringsmodeller för åldringen, drivlinans styrfunktionalitet, adaptiv användningsfunktionalitet samt utveckla och verifiera våra användningsstrategier för olika applikationer som hybrid, plug-in-hybrid och elbilar.

VCG måste fortsätta att utföra prover både i labb och i testfordon för att förstå hur olika körbeteende bidrar till batteriets degradering. Till exempel, testa celler, moduler och system med olika körprofiler, olika laddningsströmmar, olika RMS (root-mean-square) strömmar, olika SOC fönster och olika temperaturområden.

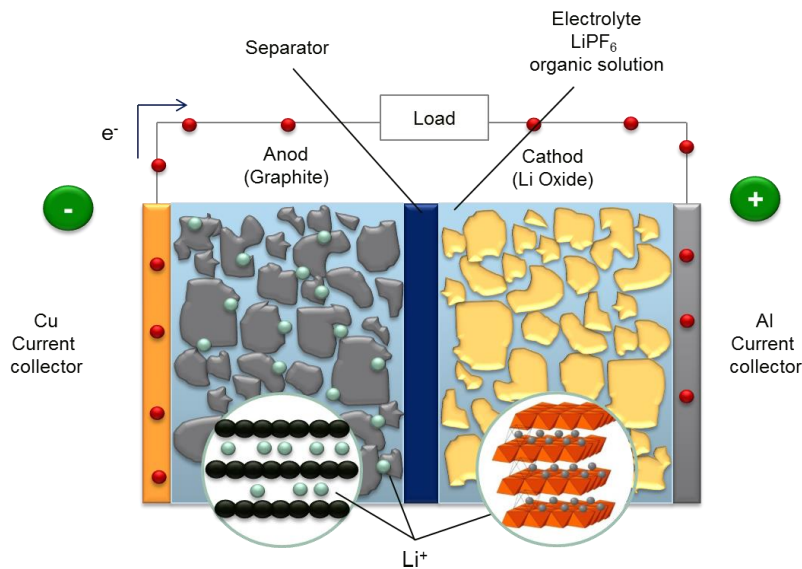
Den elektriska körsträckan och sk. räckviddsångest i dagens elektrifierade fordon har diskuterats mycket. Räckvidden beror på energimängden i batteriet. Med tiden kommer degraderingen av batteriet minska energiinnehållet och därigenom räckvidden för kunden. Men elkörsträckan beror väldigt mycket på en rad andra parametrar, tex omgivningstemperatur, batteritemperatur, körbeteende, hastighet, elektriska lasterna, klimatlasterna och trycket i däckerna. Fordonet körmotstånd beror mycket på den omgivande temperaturen och bilen använder ungefär 30% mer energi under vintern i Sverige jämfört med sommaren. Med en helt ny bil, finns det en effekt som uppväger åldringen av batteriet under ca de två första åren. Det finns en inkörningseffekt som gör att fordonet rullar lättare och lättare och förbrukar mindre och mindre energi under de två första åren. Hur detta tillsammans med hur de årstidsvariationerna påverkar elkörsträckan har analyserats i arbetspaketet. Till exempel, kommer kunden att uppleva en skillnad i elkörsträcka på mer än 20% under vintern och sommaren i Sverige.

Med den förvärvade kunskapen från projektets WP 6 och 7 om kundanvändning, hur specifika batterianvändning påverkar batteri åldring och utvecklade estimeringsmodeller för livslängden, har funktionalitet utvecklats för att kunna förlänga livet på batteriet. Specifika batterianvändningsstrategier för Volvo Car Group har också tagits fram för att se till att företaget kan säkra livslängden och använda systemet på ett optimalt sätt och leverera önskvärd elkörsträcka och prestanda för

olika applikationer. Användningen av batteriet begränsningar av ett antal limiteringar för att säkerställa att vi inte har omfattande och oönskade åldring av batteriet. En av de utvecklade funktionerna för att förlänga livet är en speciellt utarbetad strömbegränsning. Funktionaliteten begränsar i- och urladdningsströmmen till vissa RMS (root-mean-square) strömsgränser beroende på kundens körläge för undvika högre ström under längre tidsperioder, vilket kan stressa batteriet för mycket.

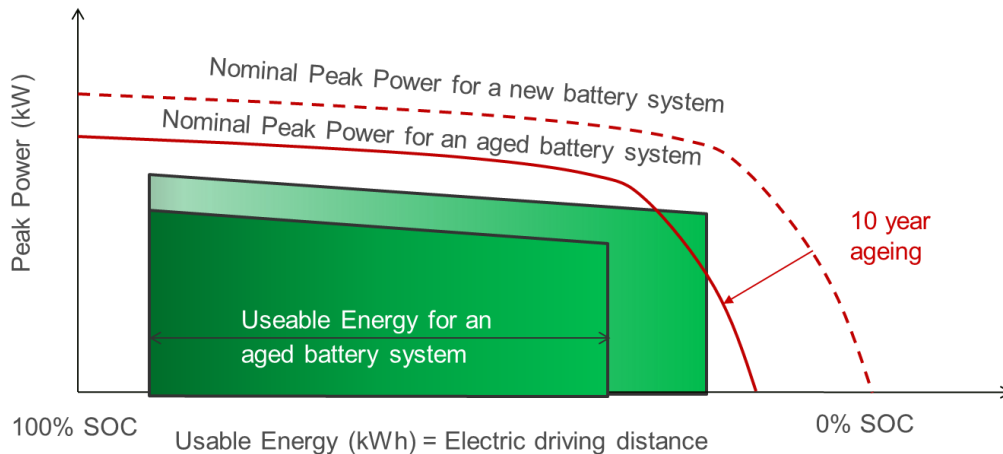
4.7 WP 7 – Batterilivslängd

Livslängden för ett li-jon batteri som används i fordonstillämpningar är idag svårt att förutse. Det finns inga standardiserade testmetoder och inga för fordon användbara estimeringsmodeller för åldringen. Den snabba tekniska utvecklingen inom området innebär att det finns en omfattande forskning inom cell-kemi och batteriåldring.



Figur 9. En schematisk bild av urladdningsprocessen där li-jonerna lämnar anoden och interkalerar in i katoden.

Li-jon cellerna är komplexa system och åldringsmekanismerna är mycket komplicerade med olika icke-linjära interna processer som interagerar med varandra och inträffar under en liknande tidshorisont. Därför är det svårt att studera åldringsprocesser oberoende av varandra och kapacitets- och effektminskningen beror inte på en enskild åldringsprocess. Exempel på nedbrytningsmekanismer i de olika interna cellkomponenter (anod, katod och elektrolyt) är förlust av Li, upplösning av aktivt material, strukturell oordning (i anod & katod), modifiering av ytor, parasitiska reaktioner eller transformationer, materialnedbrytning, förlust av kontakt med ström ledare och nedbrytningsprodukter som hindrar eller begränsar de elektrokemiska reaktionerna. Alla dessa processer bidrar till en förlust av aktivt material och ökning av inre resistansen som ger en kapacitet- eller energiförlust samt effektminskning i batteriet.



Figur 10. En schematisk bild av den typiska maxeffekten och användbara energi när batterierna åldras. I en PHEV applikation kommer minskningen av effekt starta förbränningsmotorn oftare och minskningen av energi kommer öka bränsleförbrukningen och minska elkörsträckan.

Det finns ett stort forskningsområde inom li-jon celler där man försöker kartlägga, förstå och modellera de olika åldringsmekanismerna och dess processer. Dock, från fordonsindustrins perspektiv, kan dessa olika modeller av olika åldringsmekanismer inte användas för en estimeringsmodell lämplig för att förutsäga batteriets livslängd i ett fordon. Därför det är mycket viktigt för Volvo Car Group för att erhålla kunskap om vilka parametrar som påverkar åldrandet och hur vi kan använda batteriet för att minska åldrandet. Brist på kunskaper inom området utsätter VCG för risker av höga garantikostnader.

Syfte & Måluppfyllelse

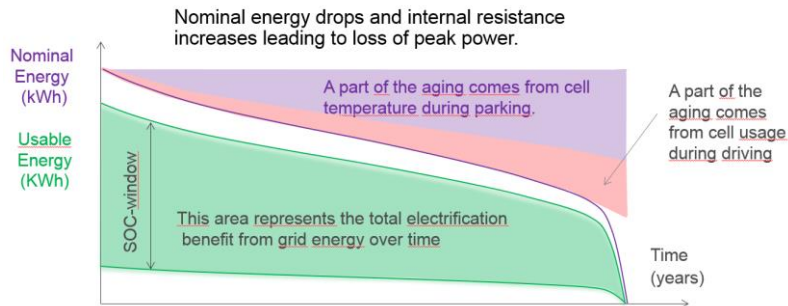
Målen för arbetspaketet var att få strategisk kunskap inom cellers egenskaper och karaktäristisk samt livslängdsinformation om leverantörers celler. Målet var också att utveckla livslängdsmodeller för att kunna säkra batteriets livslängd i fordonet, men också för att kunna optimera batterianvändning och förlänga livslängden (WP 6). Alla målen har uppnåtts i WP 6 och 7.

Genomförande, Aktiviteter & Resultat

Målet med en del av arbetet har varit att få mer kunskap om hur battericeller åldrar, förstå vilka makroskopiska parametrar som bidrar och kvantifiera hur mycket de påverkar degraderingen i form av kapacitetsminskning och inre-resistansökning. För att förstå vilka parametrar som är relevanta och hur vi kan använda batteriet, information från hur kunden använder fordonet och därmed batteriet behövs. Denna information har samlats in i arbetspaketet 6.

För att kunna använda celler på det mest optimala sätt, är det viktigt att undersöka effekterna av degraderingsprocesserna för specifika celltyper. Varje celltyp måste utvärderas genom tester och analyser. Även små förändringar i cellen eller dess omvärld kan ha en stor inverkan på dess åldring. State-of-Health (SOH), vilket är en hälsoundikator och visar åldringen av batteriet, delas normalt in i SOH Effekt och SOH Energi. Det är viktigt att beakta effekterna av degraderingen under hela livscykeln från BOL till EOL (end-of-life). De olika åldringsprocesserna kan normalt aldrig analyseras separat eftersom de alltid i kombination med varandra påverkar batteriets hälsotillstånd.

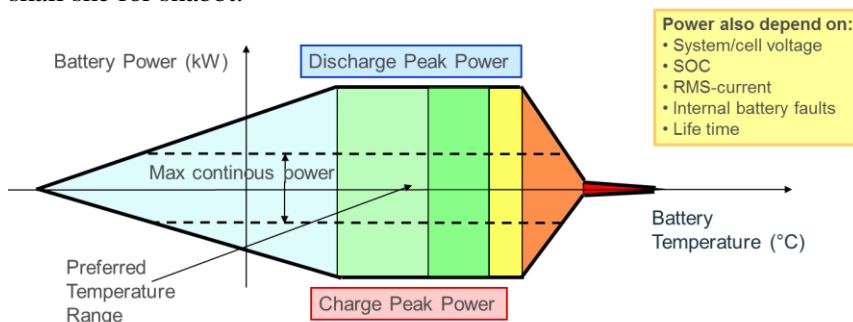
Det finns två olika åldringseffekter, kalenderåldring och cyklingsåldring. Kalenderåldring är den degradering som uppstår i batteriet utan att det användas. Åldringen är starkt beroende på temperaturen och laddningstillståndet för cellerna. För att minska åldringen är det viktigt att fordonen är utrustade med ett väl-dimensionerat aktivt kylsystem som minskar temperaturen hos cellerna både under körning och parkering. I allmänhet, är batteriet degraderingen störst vid hög temperatur och höga SOC nivåer under parkering.



Figur 11. Schematisk bild av användbar energi som förändras över tid och hur stort bidraget är från cykling- och kalenderåldrande. Detta är en generell bild för en PHEV applikation och storleken på åldrandet beror väldigt mycket på hur kunden använder batteriet, samt dess cellkemi.

Cykelåldrandet är mer komplex jämfört med kalenderåldrandet. Degraderingen pga cykling beror på antalet cykler som utförs, energiomsättning, hur djup laddning/urladdningen är, hur stora strömmarna är, laddningsnivåer samt temperaturer. Exempelvis beror åldringen på SOC fönstret, ju större fönstret är desto större är åldrande. I allmänhet kommer ett hybridbatteri, som har ett mycket mindre SOC fönster jämfört med en PHEV (som behöver ett större SOC fönster för elkörsträcka) att kunna cyklas med mycket fler cykler och åldras lika mycket. Å andra sidan, en elbil behöver så mycket cykler, eftersom kunden inte drar ur hela batteriet så ofta och därför är det möjligt att ha en större SOC fönster.

Cell balanseringsfunktionalitet är viktigt (och diskuteras i WP 5) på grund av olika åldrande kan förekomma för olika celler eller moduler om de inte är balanserade. Temperaturskillnader mellan celler är också viktigt att minimera för att minska en spridning i åldrandet mellan olika celler. Batteriet innehåller ett antal system- och cellgränser för att undvika överdriven användning av batteriet. Dessa gränser finns där av säkerhetsskäl, men också för att inte degraderingen av batteriet skall ske för snabbt.



Figur 12. Schematisk bild av effektgränser för laddning och urladdning beroende av temperaturen.



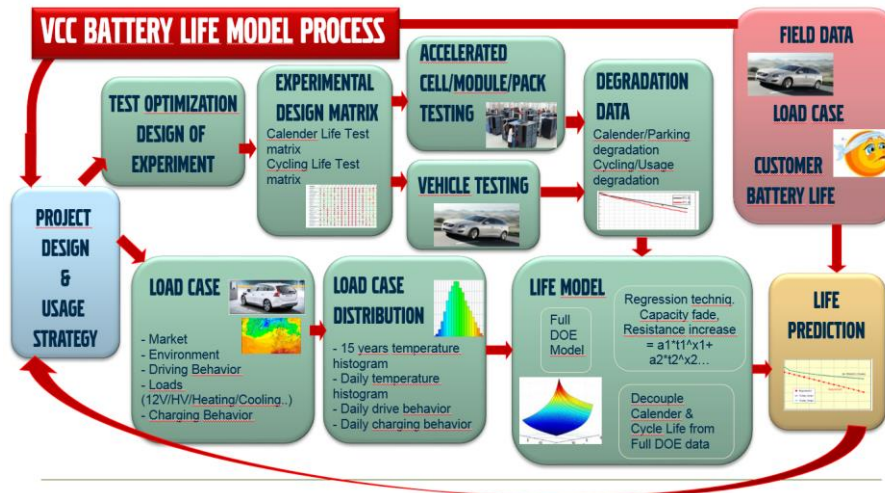
För att förstå den åldringsmekanismerna och parametrarnas effekt på degraderingen, behövs omfattande tester både i labb och i fordon. Cellutvecklingen är idag extremt snabb och under ett fordonsprojekt, som tar ca 3 år, kan cellkemin ofta ändras flera gånger. Även små förändringar i cellens kemi kräver omfattande tester. På grund av komplexiteten hos åldringsprocesserna är det mycket svårt att ta fram relevanta accelererade livslängdstester. Provens längd måste minimeras genom att man utvecklar accelererande testmetoder för att kunna erhålla användbara resultat innan projektet går i produktionen. Utmaningen är att inte accelerera proverna för mycket eftersom de då förlorar sin korrelation för den normala kundanvändning av batteriet i fordonen. I allmänhet tar testningen flera år innan resultat fås som kan användas i estimeringsmodellerna för livslängden. Volvo Car Group har utvecklat accelererade testmetoder, både på cell-, modul- och systemnivå.

Volvo Car Group har inom arbetspaketet förvärvat kunskaper inom batterianvändning och hur specifik användning påverkar åldrandet av batteriet för att kunna utveckla en livslängdsmodell-process. Processen är ett verktyg som används i projekten för att utforma ta fram strategier för batterisystemet beroende på egenskapskraven i fordonet. Processen används också för att beräkna batteriets livslängd och verifierar dess konstruktion och dess användningsstrategier. Informationen från olika delar i processen (till exempel kundantaganden, användningsantaganden, resultat från tester av celler, moduler, batterisystem i labb, resultat från fälldata från både testfordon och kundfordon samt livslängdspredikteringar) matas tillbaka in i processen och i projektet för eventuella uppdateringar eller verifiering av systemdesign och använda kontroll-strategier.

Processen (se figur 13) beskriver de olika stegen från tidigt under projektets utformning med antagna strategier för batterianvändning till predikteringen av livslängden. Beroende på resultatet från predikteringar som genomförs kontinuerligt under projektets gång uppdateras användningsstrategierna kontinuerligt. Från projektets egenskapskrav, definieras olika lastfall. Det är antaganden om kundanvändning, i vilken marknad bilarna kommer att säljas och hur kunden kommer att köra och ladda, som körcykler och körmönster.

I processen, har vi även modeller som simulerar temperaturen på battericellerna, beroende på användning, kyl- och värmestrategier, omgivningstemperatur, batteriets placering i bilen, dess isolering och så vidare. Lastfallen verifieras under provningen. Olika temperaturhistogram tillsammans med kundens körprofiler används som indata i modellen.

Beroende på applikation, projekt design och batterianvändning tas en experimentell testmatris fram för att testa celler, moduler, batterisystem inklusive batterier i kompletta fordon. Resultaten från den accelererade livslängdsprovningen (vilket innehåller olika kombinationer av kalender- och cyklingstest) samt av olika effektprofiler (statiska och dynamiska) används som indata i livslängdsmodellen. Fälldata från test-flottor och så småningom från kundbilar används också som indata till modellen. Med all indata beräknas den predikterade kapacitetsminskningen och inre-resistans ökningen över hela batteriets livslängd.



Figur 13. VCG's utvecklade process för batterilivslängdsmodellen.

4.8 WP 8 – Fält-test Utrustning i Hybrid Applikationer

Det är svårt att avgöra batteriets livslängd på grund av den komplexa åldringen av battericeller, tillsammans med osäkerheten om hur cellen kommer att cyklas och de miljöförhållanden som den kommer att utsättas för. Omfattande tester behövs därför utföras, både i laboratorium och i verkliga fordon. Testerna måste dessutom utföras under en relativt lång tidsperiod. Realistiska tester i testfordon är dyra och endast möjligt att utföra sent i utvecklingsprocessen. Därför har vi inom detta arbetspaket utvärderat behovet att utföra livslängdsprov i början av projekt med konventionella provbilar utan elektrisk drivlina.

Syfte & Måluppfyllelse

Scania och Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) har utvecklat ett fält-test utrustning som används i Scantias testfordon. Syftet var att utvärdera behovet av och utveckla en fält-test utrustning för VCG som kan placeras i en personbil med en konventionell drivlina. Utrustningen skulle cykla och stressa en battericell på samma sätt som om cellen var placerad i ett batteri som användes i en PHEV. VCG beslutade under projektets gång att inte fortsätta med utvecklingen av fält-test utrustningen. Anledningen var att det inte var kostnadseffektivt och PHEV provbilar som utvecklats inom normala produktionsprojekt bör i stället användas för att utvärdera livslängden. Kunskap om kundspecifika körsätt och motsvarande batterianvändning i verkliga livet har erhållits på andra sätt, till exempel med hjälp av logger utrustning och DRO information från kund bilar.

Genomförande, Aktiviteter & Resultat

Scantias fält-testutrustning utvärderades och kraven reviderades för en implementering i VCG's fordon. Systemet innehåller ett särskilt utvecklad programvara där hybridkomponenter modellerades. Denna programvara har utvecklats i projektet och hybridkomponenterna samt den strategi som reglerar deras verksamhet, modellerades i MATLAB/Simulink. En metod har också utvecklats för att uppskatta cellens laddningstillstånd (SOC). Den teoretiska strömmen genom cellen beräknades i systemet som om fordonet antogs vara en PHEV. Beräkningen grundar sig på realtidsdata från fordonet under körning. Utrustningen laddar och laddar ur cellen enligt den motsvarande beräknade strömmen. Statusen för battericellen övervakades och check-up parameter



tester utfördes regelbundet på cellen. Fordonets körprestanda och resultaten från parameter-tester lagrades i utrustningen.

4.9 WP 9 – Elektrokemisk Säkerhet

Syftet med detta arbetspaket var att säkerställa en långsiktig eliminering av säkerhetsproblem i våra elektrifierade fordon. Analyser som har genomförts på eldrivna fordon som varit inblandade i olyckor visar att högspänningskomponenter och batterisystem inte innebär någon risk för personer i händelse av krock och att eldrivna fordon är lika säkra som fordon med förbränningsmotor.

Syfte & Måluppfyllelse

Målet var att få strategiskt viktig kunskap avseende elektrokemiska säkerhetsaspekter av batterisystem, vilket har uppfyllts. Kunskap inom post-krock beteende erhöles genom ett antal olika aktiviteter. Mekaniska laster på battericeller och moduler i krock-olyckor undersöktes. Mekaniska egenskaper för battericeller identifierades. En finita-element-metod (FEM) modell av celler och moduler har utvecklats och validerats. Skademekanismer i fysiska tester och simulerade rekonstruktioner undersöktes.

Genomförande, Aktiviteter & Resultat

Arbetet inom detta arbetspaket har koncentrerats på att utvärdera leverantörers säkerhetskunskap, säkerhetsaspekter avseende olika cellers kemi och formfaktor samt säkerhetsaspekter på leverantörers hela batterisystem.

Ett omfattande arbete har också utförts genom att utveckla och validera FEM modeller av celler och moduler. Dessa FEM modeller kan användas i kompletta fordons krocksimuleringar och för att förutsäga elfel i krocktester. Genom detta arbete har Volvo Car Group fått kunskap om de mekaniska egenskaperna hos cellerna som kan korreleras till cellstrukturen. Syftet är att undvika mekanisk provning för varje ny celltyp.

Identifiering av typisk mekanisk belastning av modul och cell i händelse av krock gjordes genom analys av elektriska fordon är inblandade i olyckor. Information från projektet RÄDDNINGSKEDJAN användes. VCG har genomfört ett stort antal krocktester av C30 EV, V60 PHEV och XC90 PHEV. En grundlig genomgång av dessa tester genomfördes för att förstå mekaniska belastningar för batterier och skademönster i krocktester. På samma sätt har många CAE krocksimuleringar med kompletta bilmodeller i olika lastfall tillsammans med internt utförda cell- och moduler säkerhetstester utförts och analyserats inom projektet.

4.10 WP 10 – Energieffektivt kylsystem

En väl-dimensionerat aktivt kylsystemet är nödvändigt, i alla elektrifierade applikationer som HEV, PHEV och EV, för att kunna reglera celltemperaturer och säkra batteriets livslängd. För att kunna utveckla och optimera ett energieffektivt kylsystem för både kupén och batterisystemet krävs en mängd olika aktiviteter och analyser. Vad är förutsättningarna, krävs det vätskekylning eller luftkylning? Modellering av termiska flöden, hur värme transporteras mellan celler och kylningsstrukturen i modulen och av termisk resistans är exempel på saker som måste göras. Hur kommer batterianvändningen, med olika körprofiler påverka celltemperaturerna? Vilka kyl- och värmningsstrategier behövs för olika applikationer; behöver cellerna värmas, bör det finnas kylning

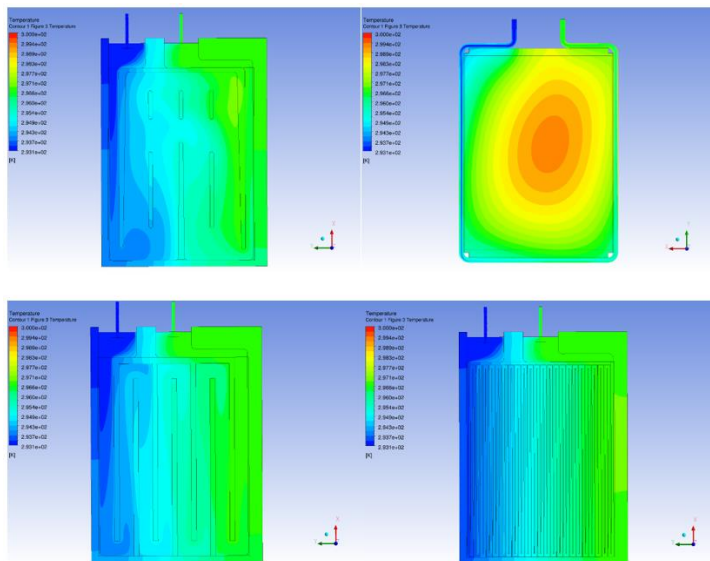
före, under och efter laddning, bör det finnas kylning under parkering? Hur kan användningen av ett kylsystem med både passiv och aktiv kylning optimeras? Hur ska batterisystemet bäst isoleras? Syftet var att utveckla ett mer effektivt kylsystemet, möjliggöra en långsiktig kostnadsminskning, samt minska Volvo Car Group risk för höga garantikostnader genom att säkra batteriets livslängd.

Syfte & Måluppfyllelse

Målet var att erhålla strategisk kunskap inom batterikylsystem för att kunna utveckla ett mer energieffektivt system.

Genomförande, Aktiviteter & Resultat

Inom arbetspaketet har tre huvudsakliga aktiviteter utförts. Den första aktiviteten var en utvärdering av den nuvarande V60 PHEV kylsystem genom att modellera hela systemet (batteri, chiller, radiator, pumpar, rör och ventiler). Alla komponenter i modellen kalibrerades och sattes ihop till en övergripande systemmodell. Modellen verifierades med hjälp av testdata. Systemmodellen kan användas för ytterligare förståelse av hur systemet fungerar och för optimering av olika driftsförhållanden och för jämförande studier.



Figur 14. Exempel på temperaturskillnad inom kylplattor med olika utformning.

En designkoncept studie av olika kylplattor (inklusive den som används i V60 PHEV) har utförts med hjälp av CFD-modellering. Beräkningarna gjordes med konstanta flödes hastigheter och tillämpades på olika kylplattadesign. Resultaten inkluderar flödes hastigheter, vätske tryck och temperaturer. Värmeledningen mellan kylplattan och cellerna utvärderades och analyserades.

Den sista aktiviteten var analys ett koncept med indirekt kylning, utan vätske-förbindelser inom batterisystem. Experimentella tester utfördes på en prototyp-modul och kylningsprestandan och temperaturgradienterna inuti cellerna analyserades.



5. Resultat

De viktigaste resultaten och leveranserna från projektet är:

- Strategiskt viktig batterikunskaper har erhållits inom alla batteriområden.
- Utvärdering av batterileverantörer utförs.
- Benchmark av konkurrenter har utförts.
- Design Guidelines har utformats.
- Commodity Business Plan har tagits fram.
- VCG's batteri strategier har tagits fram (utvecklings, design, cell, användning, förlänga livet, kylsystem, inköps).
- VCG's livslängdsmodell process och estimerings modell har utvecklats.
- VCG's batterilabb har etablerats.
- Testmetoder har utvecklats.
- Batterimodeller har utvecklats (elektriska, kyl, plant, styrkontroll, EIS, livslängd, krock).
- Kunskap inom BMS funktionalitet och kylsystem har erhållits.

Resultaten från NGBS har successivt implementerats i befintlig produktutveckling på Volvo Car Group inom projektets tidsram.

5.1 Bidrag till FFI-mål

Projektets bidrag till FFI Energi och Miljö:s mål kan sammanfattas enligt nedan:

- En fortsatt utveckling av strategiskt viktig basteknologi har utförts.
- Utveckling av innovativa koncept inom området fordonsteknik har genomförts.
- Utveckling och införande av effektivare utvecklingsmetoder har genomförts.

Projektet kommer att bidra till ett framgångsrikt genomförande av Volvo Car Group elektrifieringsstrategi i framtiden. Genom VCG framgångsrika försäljning av PHEV fordon, har projektet även bidragit till FFI Energi Miljö: s följande övergripande mål;

- 50% energieffektivisering (kWh/km) 2020 genom konkurrenskraftiga bilar.
- Energiförbrukningen per producerat fordon (ur ett livscykelperspektiv) skall minskas med 20% fram till 2020.
 - Utsläppen såsom buller, partiklar, kväveoxider och så vidare skall minskas så att nivåerna av dessa föroreningar kan tillgodoses på särskilt känsliga områden och i större städer.
 - De svenska fordonsföretagen kommer att bli världsledande i utvecklingen av energieffektiva och miljövänliga fordon, såsom elektrifierade fordon.

6. Spridning & Publicering

Arbetet kommer att fortsätta inom batteriområdet i flera interna och externa forsknings- och utvecklingsprojekt. De projektresultat och fördjupade kunskaper inom batterisystem har använts för att fortsätta arbetet inom batteriområdet. Exempel inom externt finansierade forskningsprojekt



såsom Nästa Generations Högvolt System, State-of-Funktion, Metodutveckling för livslängdsprediktering, Räddningskedjan, Åldringsmekanismer och hur man förlänger batterilivslängden, BATMAN, EverSafe och Livslång batteristyrning. Arbetet har också kommunicerats externt i olika presentationer, seminarier och på konferenser.

7. Slutsatser & Fortsatt Forskning

Syftet med VCG projekt Nästa Generations Batterisystem var att skapa en plattform för kunskap och kompetens baserat på högspännings-batterisystem för framdrivning av fordon. Avsikten var att utveckla denna plattform för att ligga ett steg före, det vill säga att förbereda sig för att gå från låg produktionsvolym till storskalig produktion av elektrifierade fordon i framtiden. Detta har uppnåtts genom att utföra anpassade och omfattande designarbete och optimering av systemet för anpassning gentemot stora volymer av elektrifierade produkter.

En förutsättning för framtida storskalig produktion är att utvecklingen av elektrifierade fordon leder till prisvärda produkter med rätt egenskaper till slutkund, som stöder Volvo Car Group's varumärke. Projektet har varit ett mycket framgångsrikt och värdefullt projekt för Volvo Car Group. Det har uppnått sina, i vissa fall, mycket aggressiva uppsatta mål på ett mycket tillfredställande sätt. Den erhållna kunskapen om batterisystem och VCG's utvecklade strategier inom de olika batteriområdena är en förutsättning för att minimera kostnad, vikt och volym, leverera en premiumbilsupplevelse, och tillfredsställa kundernas behov och önskemål när det gäller elkörsträcka och prestanda i framtida elektrifierade bilar.

Volvo Car Group's kärnvärden är säkerhet, kvalitet och miljö. Fokus på miljön utgår från människors hälsa, energieffektivitet och resurseffektivitet inklusive VCG: s elektrifieringsstrategi, som innebär att erbjuda ett stort utbud av elektrifierade fordon i framtiden. För Volvo Car Group, är framtidens rörlighet samma sak som en hållbar rörlighet.

8. Deltagande Parter & Kontaktpersoner

Projektet har varit ett internt projekt på Volvo Car Group.

Projektledare: Theresa Granéus (theresa.granerus@volvocars.com)